

**PENGARUH VARIASI LARUTAN PENDESTRUKSI, WAKTU, SUHU,
DAN UKURAN TERHADAP PENENTUAN KADAR LOGAM BERAT
KADMIUM (Cd) PADA KERANG HIJAU (*Perna viridis*)
MENGUNAKAN METODE *MICROWAVE DIGESTION* DENGAN
SPEKTROKOPI SERAPAN ATOM (SSA)**

SKRIPSI

**Oleh:
NAHDYA HALIMATUSSA'DIYAH
NIM. 15630120**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**PENGARUH VARIASI LARUTAN PENDESTRUKSI, WAKTU, SUHU,
DAN UKURAN TERHADAP PENENTUAN KADAR LOGAM BERAT
KADMIUM (Cd) PADA KERANG HIJAU (*Perna viridis*)
MENGUNAKAN METODE *MICROWAVE DIGESTION* DENGAN
SPEKTROSKOPI SERAPAN ATOM (SSA)**

SKRIPSI

**Oleh:
NAHDYA HALIMATUSSA'DIYAH
NIM. 15630120**

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**PENGARUH VARIASI LARUTAN PENDESTRUKSI, WAKTU, SUHU,
DAN UKURAN TERHADAP PENENTUAN KADAR LOGAM BERAT
KADMIUM (Cd) PADA KERANG HIJAU (*Perna viridis*)
MENGUNAKAN METODE *MICROWAVE DIGESTION* DENGAN
SPEKTROKOPI SERAPAN ATOM (SSA)**

SKRIPSI

**Oleh:
NAHDYA HALIMATUSSA'DIYAH
NIM. 15630120**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I



Diana Candra Dewi, M.Si
NIP.19770720 200312 2 001

Pembimbing II



Oky Bagus Prasetyo, M.Si
NIDT. 19890011320180201 1 244

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Elok Kamilah Hayati
NIP. 19790620 200604 2 002

**PENGARUH VARIASI LARUTAN PENDESTRUKSI, WAKTU, SUHU,
DAN UKURAN TERHADAP PENENTUAN KADAR LOGAM BERAT
KADMIUM (Cd) PADA KERANG HIJAU (*Perna viridis*)
MENGUNAKAN METODE *MICROWAVE DIGESTION* DENGAN
SPEKTROSKOPI SERAPAN ATOM (SSA)**

SKRIPSI

**Oleh:
NAHDYA HALIMATUSSA'DIYAH
NIM. 15630120**

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 26 April 2021**

Penguji Utama	: Himmatul Barroroh, M.Si NIP. 19750730 200312 2 001	(..... )
Ketua Penguji	: Elok Kamilah Hayati, M.Si NIP. 19790620 200604 2 002	(..... )
Sekretaris Penguji	: Diana Candra Dewi, M.Si NIP.19770720 200312 2 001	(..... )
Anggota Penguji	: Oky Bagus Prasetyo, M.Si NIDT. 19890011320180201 1 244	(..... )

**Mengetahui,
Ketua Program Studi**

**Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002**

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nahdya Halimatussa'diyah

Nim : 15630120

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Pengaruh Variasi Larutan Pendestruksi, Waktu, Suhu, Dan Ukuran terhadap Penentuan Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna Viridis*) menggunakan Metode *Microwave Digestion* dengan Spektroskopi Serapan Atom (Ssa).

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan saya atau pikiran saya, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 26 April 2021

Yang membuat pernyataan



Nahdya Halimatuss

15630120

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahrobbil'aalamiin

Dengan senantiasa memanjatkan puja dan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat, hidayah dan ridhonya sehingga bisa terselesaikan karya sederhana ini. Tak lupa sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada junjungan nabi besar Muhammad SAW.

...

Karya ini saya persembahkan kepada segenap orang-orang yang saya sayangi sebagai rasa bakti, hormat, dan rasa terima kasih.

Pertama, Kepada orang tua saya (Ibu Siti Maymunah) yang telah memberikan begitu banyak dukungan berupa do'a, nasehat, motivasi, dan kasih sayang yang tidak terkira. Terima kasih untuk segalanya, terima kasih untuk semua kerja keras mereka yang bisa membawa saya sampai disini dan mempersembahkan karya sederhana ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan mereka, aamiin.

Kedua, Kepada teman-teman seperjuangan, Rahma, Aldi, A'yun, Fitri, Dimitri dan Riv'ah. Terima kasih kepada Rahma yang telah membantu dalam proses penelitian ini, dari proses survei lapangan, mencari sampel berkali-kali di Pasuruan, dan menemani hingga akhir sidang. Terima kasih juga untuk Aldi, A'yun, Fitri, Dimitri dan Riv'ah yang telah mengisi keseharian saya selama masa perkuliahan ini, membantu, mendukung, dan memotivasi hingga mencapai tahap ini. Terima kasih kepada Paul yang telah membantu dalam proses penelitian dan tahap akhir. Semoga sukses dan semoga semua kebaikan dibalas oleh Allah SWT, aamiin.

Ketiga, Kepada seluruh dosen dan semua pihak di Jurusan Kimia yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu yang bermanfaat kepada saya. Terutama kepada Bu Diana selaku pembimbing penelitian, Bu Elok selaku konsultan penelitian, dan Bu Rahma selaku wali dosen. Terima kasih atas semua nasehat dan ilmunya, semoga semua kebaikan yang diberikan mendapat balasan dari Allah SWT, aamiin.

Keempat, Kepada seluruh teman-teman Kimia Angkatan 2015 yang membantu dan mendukung dalam bentuk apapun. Juga kepada Momclay All team yang telah menemani dari awal perkuliahan hingga akhir, saya mengucapkan terima kasih banyak. Semoga sukses dan semoga semua kebaikan dibalas oleh Allah SWT, aamiin.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wa Rahmatullahi wa Barakatuh

Alhamdulillah, puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya kepada penulis atas terselesainya skripsi ini. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW yang merupakan pencetus kehidupan keadilan, merevolusi dunia, penuntun umat agar senantiasa berpegang teguh pada Al-Qur'an dan al-Hadist dan beliau telah membimbing kita dari jalan yang salah menuju ke jalan yang benar.

Penyusun mengucapkan syukur alhamdulillah atas terselesaikannya skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Larutan Pendestruksi, Waktu, Suhu, dan Ukuran terhadap Penentuan Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) menggunakan Metode *Microwave digestion* dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA)”** Skripsi ini dimaksudkan sebagai salah satu syarat untuk memenuhi kewajiban untuk jenjang S1 dalam tugas akhir.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penyusun memperoleh banyak bimbingan, nasihat dan bantuan dari berbagai pihak. Penyusun mengucapkan banyak terima kasih pada kesempatan ini yaitu kepada:

1. Ibu tercinta yang telah dan akan tetap memberikan banyak nasihat, doa dan dukungan baik moril maupun materil yang tak mungkin terbalaskan beserta keluarga besar yang telah memotivasi dan memberi semangat.
2. Bapak Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag, selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si, selaku ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Diana Candra Dewi, M.Si, selaku dosen pembimbing penelitian yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan nasehat kepada penyusun dalam menyelesaikan skripsi ini.

5. Bapak Oky Bagas Prasetyo M.Si, selaku dosen pembimbing agama yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dan nasehat kepada penyusun selama menyelesaikan skripsi ini.
6. Seluruh dosen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mengalirkan ilmu, pengetahuan, pengalaman, wacana dan wawasannya sebagai pedoman dan bekal bagi penyusun.
7. Semua mahasiswa Kimia Angkatan 2015 Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberi motivasi, informasi dan masukannya kepada penyusun dalam menyelesaikan skripsi ini, khususnya untuk teman-teman setim penelitian yaitu Rahma dan Zainab.
8. Semua rekan-rekan dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas segala bantuan dan motivasinya kepada penyusun.

Penulis menyadari akan kekurangan dan keterbatasan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, diperlukan kritik dan saran yang membantu dalam upaya memperbaiki tulisan dan isi naskah sehingga menjadi lebih baik lagi. Semoga tugas pembuatan skripsi ini dapat menjadi acuan dalam pembelajaran dan bermanfaat bagi kita semuanya. Aamiin.

Wassalamualaikum wa Rahmatullahi wa Barakatuh

Malang, 06Oktober2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
المستخلص.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Masalah	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pencemaran Air Laut	10
2.2 Logam Berat	12
2.2.1 Logam Berat Kadmium (Cd)	13
2.3 Kerang	14
2.3.1 Taksonomi Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>)	15
2.4 Akumulasi Logam Kadmium dalam Kerang.....	19
2.4.1 Toksisitas Logam Kadmium (Cd).....	23
2.2.1 Akumulasi Logam Kadmium (Cd) dalam Tubuh	24
2.5 Metode Dekstruksi Basah dan Variasi Larutan Pengoksidasi	26
2.5.1 Destruksi Basah Tertutup (<i>Microwave Destruction</i>).....	26
2.5.2 Analisis Kadmium (Cd) Menggunakan Variasi Larutan Pengoksidasi	28
2.6 Analisis Kadmium (Cd) Secara Spektroskopi Serapan Atom	31
2.7 Analisis <i>One Way Anova</i>	34
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	37
3.2 Alat dan Bahan	37
3.2.1 Alat.....	37
3.2.2 Bahan	37
3.3 Rancangan Penelitian.....	37

3.4 Tahapan Penelitian.....	37
3.5 Cara Kerja.....	38
3.5.1 Pengambilan dan Preparasi Sampel	38
3.5.2 Pengaturan Alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).....	38
3.5.3 Pembuatan Kurva Standar Kadmium $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	38
3.5.4 Penentuan Jenis Larutan Pengoksidasi Terbaik pada Kadmium (Cd) dalam Sampel Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>).....	38
3.5.5 Penentuan Suhu Destruksi Terbaik pada Kadmium (Cd) dalam Sampel Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>).....	39
3.5.6 Penentuan Waktu Destruksi Terbaik pada Kadmium (Cd) dalam Sampel Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>).....	40
3.5.7 Penentuan Kadar Kadmium (Cd) pada masing-masing Ukuran Sampel Kerang Hijau (<i>Perna viridis</i>).....	41
3.5.8 Analisis Data.....	42
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengambilan dan Preparasi Sampel	44
4.2 Pembuatan Kurva Standar Kadmium (Cd).....	45
4.3 Penentuan Larutan Pendestruksi Terbaik	47
4.4 Penentuan Suhu Destruksi Terbaik	50
4.5 Penentuan Waktu Destruksi Terbaik	52
4.6 Penentuan Kadar Kadmium (Cd) dalam Kerang Hijau Berdasarkan Ukuran	53
4.7 Kajian Hasil Penelitian Timbal menurut Perspektif Islam	58
 BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
 DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerang Hijau.	16
Gambar 2.2 Bagian-Bagian Cangkang Kerang Hijau	18
Gambar 2.3 Kurva Standar.....	34
Gambar 4.1 Grafik Kurva Standar Logam Kadmium (Cd).....	46
Gambar 4.2 Grafik Kadar Kadmium Variasi Larutan Pendestruksi	49
Gambar 4.3 Grafik Kadar Kadmium Variasi Suhu Destruksi	51
Gambar 4.4 Grafik Kadar Kadmium Variasi Waktu Destruksi	53
Gambar 4.5 Grafik Kadar Kadmium Berdasarkan Variasi Ukuran	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batas Maksimum Cemar Logam	13
Tabel 3.1 Variasi Larutan Pendestruksi	39
Tabel 3.2 Variasi Suhu Destruksi	40
Tabel 3.3 Variasi Waktu Destruksi	40
Tabel 3.4 Variasi Ukuran Kerang	41
Tabel 4.1 Hasil Uji <i>One way Anova</i> Variasi Larutan Pendestruksi	49
Tabel 4.2 Hasil Uji <i>One way Anova</i> Variasi Suhu Destruksi	51
Tabel 4.3 Hasil Uji <i>One way Anova</i> Variasi Waktu Destruksi	53
Tabel 4.4 Hasil Uji <i>One way Anova</i> Variasi Ukuran Kerang	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rancangan Penelitian	75
Lampiran 2 Diagram Alir	76
Lampiran 3 Perhitungan	81
Lampiran 4 Hasil Uji Kurva Standar	84
Lampiran 5 Data Hasil Instrumen Larutan Sampel	85
Lampiran 6 Dokumentasi Penelitian	94
Lampiran 7 Analisis Statistik	96
Lampiran 8 Penentuan F Tabel Probabilitas 0,05	108
Lampiran 9 Penentuan Nilai z Distribusi Normal	109
Lampiran 10 Penentuan t-tabel	110

ABSTRAK

Sa'diyah H, Nahdya. 2020. **Pengaruh Variasi Larutan Pendestruksi, Waktu, Suhu, dan Ukuran terhadap Penentuan Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) menggunakan Metode *Microwave digestion* dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA).** Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing 1: Diana Candra Dewi, M.Si; Pembimbing 2: Oky Bagus Prasetyo, M.Si.

Kata kunci: Kadmium (Cd), Kerang hijau (*Perna viridis*), *Microwave Digestion*

Kadmium adalah logam kebiruan yang lunak, termasuk golongan II B table berkala dengan konfigurasi elektron [Kr] 4d105s2. unsur ini bernomor atom 48, mempunyai bobot atom 112,41 g/mol dan densitas 8,65 g/cm³. Titik didih dan titik lelehnya berturut-turut 765°C dan 320,9°C. Kadmium merupakan racun bagi tubuh manusia. Keracunan logam Kadmium dapat menimbulkan bahaya bagi tubuh manusia baik akut maupun kronis. Efek akut adalah efek yang timbul dalam jangka waktu pendek. Sedangkan efek kronis adalah efek yang terjadi akibat paparan logam Kadmium dengan dosis kecil dalam waktu yang lama. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kadar logam kadmium yang terakumulasi dalam kerang hijau menggunakan metode *microwave digestion* secara Spektrofotometer Serapan Atom dalam larutan hasil destruksi sampel kerang hijau.

Tahapan penelitian ini meliputi preparasi dan pengambilan sampel kerang hijau berbagai macam ukuran, pembuatan kurva standar kadmium (Cd), penentuan jenis larutan pendestruksi terbaik dengan variasi HNO₃ + H₂O₂ (1:1), HNO₃ + H₂O₂ (2:1), dan HNO₃ + H₂O₂ (3:1), penentuan suhu destruksi terbaik dengan variasi suhu 160, 180, dan 200° C, dan penentuan waktu destruksi terbaik dengan variasi waktu 10, 15, dan 20 menit. Penentuan kadar logam kadmium (Cd) diukur menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Kadar kadmium (Cd) yang terukur paling tinggi menggunakan variasi larutan, suhu, dan waktu destruksi terbaik selanjutnya digunakan untuk menentukan kadar kadmium (Cd) pada berbagai macam ukuran kerang darah. Hasil penentuan kadar kadmium (Cd) yang diperoleh dianalisis menggunakan metode *One Way Anova*. Hasil larutan pendestruksi dan suhu destruksi terbaik dengan hasil kadar kadmium tertinggi pada kerang adalah HNO₃ : H₂O₂ (1:1) pada suhu 200° C. Sedangkan hasil waktu destruksi terbaik tidak dapat diperoleh karena tidak ada pengaruh variasi waktu destruksi terhadap kadar timbal dalam sampel. Hasil rata-rata kadar logam kadmium (Cd) dalam kerang hijau berukuran kecil (1,0-4,0 cm), sedang (4,0 cm), dan besar (> 4 cm) secara berurutan adalah 1,622 mg/kg; 2,5805 mg/kg; 1,614 mg/kg. Kadar kadmium (Cd) dalam kerang hijau berukuran sedang (2,1-4,0 cm) melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh SNI sebesar 1,0 mg/kg.

ABSTRACT

Sa'diyah H, Nahdya. 2020. **The Effect of Digestion Solution Variation, Time, Temperature, and Size on the Determination of Heavy Metal Cadmium (Cd) Levels in Green Shells (*Perna viridis*) using the Microwave Digestion Method with Atomic Absorption Spectroscopy (AAS).** Chemistry Departement, Faculty of Science and Technology Islamic State University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Adviser 1: Diana Candra Dewi, M.Si; Adviser 2: Oky Bagus Prasetyo, M.Si.

Keywords: Cadmium (Cd), Green Shells (*Perna viridis*), Microwave Digestion

Cadmium is a soft bluish metal, belonging to the Group II B table periodically with the electron configuration [Kr] 4d105s2. This element has atomic number 48, has an atomic weight of 112.41 g / mol and a density of 8.65 g / cm³. Its boiling and melting points are 765°C and 320.9°C, respectively. Cadmium is poisonous to the human body. Cadmium metal poisoning can cause harm to the human body both acute and chronic. Acute effects are those that occur in the short term. Meanwhile, chronic effects are effects that occur due to exposure to Cadmium metal in small doses for a long time. This study aims to determine the levels of cadmium metal accumulated in green clams using the microwave digestion method using the Atomic Absorption Spectrophotometer in the solution of the results of the destruction of the green mussel samples.

The stages of this research included preparation and sampling of green shells of various sizes, making standard cadmium (Cd) curves, determining the type of best digestion solution with variations of HNO₃ + H₂O₂ (1: 1), HNO₃ + H₂O₂ (2: 1), and HNO₃ + H₂O₂ (3: 1), determining the best digestion temperature with temperature variations of 160, 180, and 200 ° C, and determining the best digestion time with variations of time 10, 15, and 20 minutes. The determination of cadmium (Cd) levels was measured using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The highest cadmium (Cd) levels measured using the best solution, temperature, and digestion time variations were then used to determine cadmium (Cd) levels in various sizes of blood clams. The results of the determination of cadmium (Cd) levels obtained were analyzed using the One Way Anova method. The best results of the digestion solution and the digestion temperature with the highest cadmium content in shellfish were HNO₃: H₂O₂ (1: 1) at 200 ° C. While the best results of digestion time could not be obtained because there was no effect of variation in digestion time on the lead content in the sample. The average yield of cadmium (Cd) levels in small (1.0-4.0 cm), medium (4.0 cm), and large (> 4 cm) green shells was 1.622 mg / kg, respectively; 2,5805 mg / kg; 1,614 mg / kg. Cadmium (Cd) levels in medium-sized green shells (2.1-4.0 cm) exceed the threshold set by SNI of 1.0 mg / kg.

المستخلص

سعدية ح، نهديا ٢٠٢٠. تحديد معدل المعادن الكاديوم الثقيلة (CD) في الأصناف الخضراء (*Perna viridis*) باستخدام طريقة الهضم الميكروويف مع مطياف الامتصاص الذري (SSA). قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفة الأولى: ديانة جانديرا دوي، الماجستير؛ المشرف الثاني: أوكي باغاس براسيتيو، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: المعادن الكاديوم (Cd)، الأصناف الخضراء، هضم الميكروويف الكاديوم هو معدن موزق ناعم، بما في ذلك جدول المجموعة الثانية B الدوري معكونيغوراسي إليكرون 4d105s2 [Kr]. هذا العنصر هو ذرة 48، ولها وزن ذري من 112.41 ز/مول وكثافة 8.65 ز/سم³. وكانت نقاط الغليان ونقاط الذوبان 2765°C و 3209°C على التوالي. كاديوم هو السم لجسم الإنسان. يمكن أن يشكل التسمم بالمعادن الكاديوم خطراً على جسم الإنسان بشكل حاد ومزمن. الآثار الحادة هي الآثار التي تنشأ في فترة قصيرة من الزمن. في حين أن التأثير المزمن هو التأثير الذي يحدث بسبب التعرض للمعادن الكاديوم مع جرعات صغيرة لفترة طويلة. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد مستويات المعادن الكاديوم المتراكمة في الأصناف الخضراء باستخدام طريقة الهضم الميكروويف في مطياف الامتصاص الذري في محلول ناتج عن عينة مدمرة من الأصناف الخضراء. وتشمل هذه المرحلة من الدراسة إعداد وأخذ عينات من قذائف خضراء من مختلف الأحجام، وتصنيع منحنيات معدل الكاديوم (Cd)، وتحديد أفضل أنواع الحلول المدمرة مع الاختلافات (1:1) HNO₃ + H₂O₂، (2:1) HNO₃ + H₂O₂، و HNO₃ + H₂O₂ (3:1)، وتحديد أفضل درجة حرارة مدمرة مع اختلاف درجة الحرارة من 160، 180، و 200 درجة مئوية، وأفضل توقيت مدمر مع اختلافات زمنية من 10، 15، و 20 دقيقة. تقاس مستويات معدن الكاديوم (Cd) باستخدام مقياس طيف الامتصاص الذري (SSA). يتم بعد ذلك استخدام أعلى معدل الكاديوم (CD) قياس باستخدام أفضل تباين في الحل ودرجة الحرارة والوقت المدمر لتحديد. كانت أفضل النتائج لمحلول الهضم ودرجة حرارة الهضم مع أعلى محتوى من الكاديوم في المحار هي HNO₃: H₂O₂ (1:1) عند 200 درجة مئوية بينما لم يتم الحصول على أفضل نتائج وقت الهضم لأنه لم يكن هناك أي تأثير للاختلاف في وقت الهضم على محتوى الرصاص في العينة. كان متوسط إنتاج الكاديوم في الأصناف الخضراء الصغيرة (1.0-4.0 سم) والمتوسطة (4.0 سم) والكبيرة (< 4 سم) 1.622 مجم / كجم، 2.5805 ملغم / كجم؛ 1.614 مجم / كجم. تتجاوز مستويات الكاديوم (Cd) في المحار الأخضر متوسط الحجم (2.1-4.0 سم) العتبة التي حددتها SNI وهي 1.0 مجم / كجم.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kerang hijau merupakan hasil laut segar yang dikonsumsi luas oleh masyarakat. Hewan ini banyak dimanfaatkan sebagai salah satu sumber protein hewani. Kerang hijau mempunyai nama lokal yang berbeda di setiap tempat, seperti kijing (Jakarta), kedaung (Banten), dan kemudi kapal (Riau). Di negara-negara Asia Tenggara, kerang hijau dikenal dengan sebutan siput sudu (Malaysia), chaff luan (Singapura), to hong (Filipina) dan hai mong poo (Thailand). Kerang hijau termasuk moluska yang mempunyai cangkang yang simetris. Panjang cangkangnya lebih dari dua kali lebarnya, mempunyai insang yang berlapis-lapis dan mempunyai cilia. Hidup menempel pada benda-benda keras dengan bantuan benang byssus yang dihasilkan oleh kelenjar kaki (Asikin, 1982).

Kerang banyak ditemui di pesisir pantai dengan arus yang tidak begitu kuat, umumnya hidup pada kedalaman 1 – 7 meter seperti pada pesisir pantai Lekok. Pantai Lekok adalah sebuah pantai di pesisir utara yang terletak di desa Lekok, Kabupaten Pasuruan Provinsi Jawa Timur. Pantai ini merupakan salah satu tempat pelelangan ikan (TPL) terbesar di Pasuruan, Jawa Timur. Berbagai jenis kerang dapat ditemui di pantai ini salah satunya adalah Kerang hijau (*Perna viridis*). Para nelayan biasanya mencari kerang di tepi pantai Lekok dan sekitarnya ketika air laut sedang surut. Letak pantai Lekok ini berdekatan dengan beberapa industri seperti pembuatan baterai, kabel, pengalengan ikan yang berpotensi menghasilkan

limbah logam Cd yang dapat mencemari perairan Lekok dan terakumulasi ke dalam biotalaut, logam Cd juga dihasilkan dari bahan bakar perahu motor di pelabuhan Lekok. Pemukiman penduduk disini juga sangat dekat dengan bibir pantai sehingga peluang tercemarnya limbah rumah tangga seperti sampah-sampah dan deterjen serta korosi dari pipa-pipa air semakin meningkat.

Kerang merupakan golongan mollusca, yaitu hewan lunak yang diapit cangkang keras dan tidak memiliki organ hati untuk menghancurkan benda asing, termasuk racun yang masuk ke dalam tubuhnya maupun pada cangkangnya. Akibatnya, semua benda asing ditampung di dalam dagingnya. Hal ini juga yang menyebabkan logam berat yang ada pada tubuh sulit untuk diuraikan, tidak semua kerang mengandung logam berat. Kerang yang mengandung logam berat bisa dikarenakan adanya pencemaran pada perairan.

Pencemaran logam berat dapat merusak lingkungan perairan dalam hal stabilitas, keanekaragaman, dan ekosistem. Kerusakan ini biasanya dipicu oleh adanya limbah-limbah dari pabrik, rumah tangga, aktivitas pertanian dan masih banyak lagi. Hal ini dapat menimbulkan efek khusus pada makhluk hidup karena logam berat dapat menjadi bahan racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup. Ajaran agama Islam memiliki kepedulian yang tinggi terhadap semua yang ada di alam ini, yang berarti kita sebagai manusia khalifah bumi ini sudah sepatutnya untuk menjaga, mengelola, memanfaatkan, dan memelihara alam semesta ini. Allah telah menciptakan alam semesta untuk kepentingan dan kesejahteraan semua makhluk-Nya cukup dan tidak kurang, khususnya untuk manusia. Seperti yang telah dijelaskan pada ayat berikut :

{وَمَا يَسْتَوِي الْبَحْرَانِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ سَائِغٌ شَرَابُهُ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَمِنْ كُلٍّ تَأْكُلُونَ لَحْمًا طَرِيًّا وَتَسْتَخْرِجُونَ حِلْيَةً تَلْبَسُونَهَا وَتَرَى الْفُلْكَ فِيهِ مَوَاجِرَ لِيَبْتَغُوا مِنْ فَضْلِهِ وَلِعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ
{ (12)}

Artinya: *Dan tiada sama (antara) dua laut; yang ini tawar, segar, sedap diminum dan yang lain asin lagi pahit. Dan dari masing-masing laut itu kamu dapat memakan daging yang segar dan kamu dapat mengeluarkan perhiasan yang dapat kamu memakainya, dan pada masing-masingnya kamu lihat kapal-kapal berlayar membelah laut supaya kamu dapat mencari karunia-Nya dan supaya kamu bersyukur. (Q.S. Al-Faathir : 12).*

Berdasarkan Tafsir Jalalayn ayat diatas dapat ditafsirkan bahwa, Allah SWT menegaskan bahwa (Dan tiada sama -antara- dua laut; yang ini tawar, segar) sangat tawar (sedap diminum) sedap rasanya (dan yang lain asin lagi pahit) karena terlalu asin. (Dan dari masing-masing) kedua laut itu (kalian dapat memakan daging yang segar) yaitu ikan (dan kalian dapat mengeluarkan) dari laut yang asin, menurut pendapat yang lain dari laut yang tawar juga (perhiasan yang dapat kalian memakainya) yaitu berupa mutiara dan batu Marjan (dan kamu lihat) kamu dapat menyaksikan (bahtera) perahu (padanya) yakni pada masing-masing dari keduanya (dapat berlayar) dapat membelah airnya karena dapat melaju di atasnya; baik maju atau pun mundur hanya dengan satu arah angin (supaya kalian dapat mencari) berupaya mencari (karunia-Nya) karunia Allah SWT. melalui berniaga dengan memakai jalan laut (dan supaya kalian bersyukur) kepada Allah atas hal tersebut (Jalaluddin, 1459).

Menurut Zul Alfian (2007) kadmium sangat sedikit diabsorbsi disaluran cerna, yaitu paling banyak adalah sekitar 5 %. Sedangkan absorbansinya melalui saluran napas lebih sempurna. Setelah diabsorbsi, kadmium akan terikat kuat dalam hati dan ginjal, pada pemberian suntikan kadmium secara intravena terhadap binatang percobaan, ekskresinya lebih banyak melalui empedu daripada urin. Untuk itu

dilakukan penentuan kandungan kadmium (Cd) pada kerang. Menurut Ridwan (2011) , batas maksimum cemaran Cd berdasarkan SNI No. 7387 tahun 2009 untuk pangan jenis kerangkerangan (*bivalvia*), moluska dan teripang adalah 1,0 mg/kg (1,0 ppm).

Namun, dalam salah satu penelitian yang dilakukan oleh Melisa,dkk (2015), kadar logam kadmium yang terakumulasi dalam kerang bulu (*Anadara antiquata*) di perairan Belawan Medan Utara melebihi batas yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia dan Uni Eropa yaitu sebesar 1,5 mg/kg. Ismarti (2015) melakukan penelitian kadar logam timbal yang terakumulasi dalam kerang dari kawasan Pulau Buluh diperoleh sebesar 2,46 mg/kg yang menunjukkan bahwa kadar tersebut juga melewati ambang batas aman untuk dikonsumsi. Hal ini menunjukkan bahwa biota perairan sangat rentan terhadap kontaminasi logam berat dalam perairan sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mencegah terjadinya akumulasi logam berat yang berlebihan dalam tubuh melalui salah satu biota laut, yaitu kerang hijau.

Secara teoritis, semakin besar cangkang suatu kerang maka semakin tua umur kerang tersebut. Pertambahan umur suatu organisme air dimungkinkan akan semakin banyak juga bahan-bahan organik yang sudah diserap dan berbarengan dengan kandungan logam yang ada di perairan tersebut yang masuk dan mengendap di dalam tubuh organisme tersebut. Namun berdasarkan hasil penelitian didapatkan hal yang sebaliknya, berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Andrew, dkk (2014) kandungan logam Pb tertinggi pada kerang darah terdapat pada ukuran cangkang sedang (70-78 mm), kecil (57-69 mm), dan besar (80-90mm) berturut-turut yaitu $10,10 \pm 0,16$; $9,50 \pm 0,48$; dan $8,25 \pm 0,48$

mg/kg, begitu juga pada penelitian Yaqin (2014), kadar logam tertinggi pada kerang hijau diperoleh pada ukuran cangkang sedang (4-6 cm), besar (6-8 cm), dan kecil (2-4 cm) sebesar 0,792; 0,37; dan 0,107 mg/kg. Hal ini sesuai dengan pernyataan Rudyanti (2009) dan Aunurohim (2006) bahwa kerang yang memiliki kemampuan akumulasi lebih besar adalah kerang yang berukuran kecil karena setelah kerang pada tahap ukuran sedang (masa produktif) mengalami puncak proses pertumbuhan dan perkembangan, yang kemudian pada tahap kerang mencapai ukuran besar terjadi penurunan perkembangan. Konsentrasi logam pada spesies kerang yang berukuran besar menjadi lebih rendah dibandingkan yang berukuran sedang, karena kemampuan untuk mengakumulasi logam juga mengalami penurunan.

Adanya perbedaan ukuran dalam kerang menghasilkan berbagai kandungan logam dengan berat yang berbeda-beda, sehingga dilakukan penentuan kadar logam Cd dalam kerang hijau dengan berbagai variasi ukuran. Menurut Khusnul, dkk (2014), ukuran kerang hijau mencapai 2-9 cm, sedangkan menurut Latifah (2011), ukuran kerang dewasa berdiameter 6-9 cm. Variasi ukuran yang akan digunakan adalah kerang hijau berukuran kecil (<4cm), sedang (4cm), besar (>4cm).

Metode yang dilakukan untuk menentukan kandungan kadmium (Cd) dalam kerang hijau ini digunakan destruksi basah tertutup menggunakan *microwave digestion*. Dekstruksi basah adalah perombakan sampel dengan asam-asam kuat baik tunggal maupun campuran, kemudian dioksidasi dengan menggunakan zat oksidator. Beberapa penelitian penentuan logam pada kerang menggunakan destruksi basah dilakukan dengan larutan asam kuat, dikarenakan asam kuat

dapat melarutkan atau mengoksidasi mineral anorganik menjadi bentuk kation menghasilkan kadar timbal sebesar $9,000 \pm 3,225$ mg/kg, sedangkan hasil yang logam. Logam kadmium (Cd) biasanya di destruksi dengan campuran larutan HNO_3 pekat, H_2SO_4 pekat, HClO_4 dan H_2O_2 30 %. Dalam penelitian Wulandari et. al. (2009), sampel kerang darah pada muara Banjir Kanal Timur Semarang di destruksi dengan campuran larutan tersebut yaitu 10 mL HNO_3 p.a + 5 mL H_2O_2 (2:1), menghasilkan kadar kadmium yakni 16,770 ppm. Pada *microwave digestion system*, peneliti Clarice dkk (2016) sampel kerang di destruksi menggunakan campuran larutan 7 mL HNO_3 p.a + 7 mL H_2O_2 (1:1) yang menghasilkan kadar maksimum kadmium sebesar 12,1 ppm. Peneliti Irsyad (2012) mendapatkan kadar kadmium sebesar 1,408 ppm pada sampel ikan bandeng muara sungai Banjir Kanal Timur Semarang dengan campuran larutan 5 mL HNO_3 p.a + 5 mL H_2O_2 (1:1) sampel dilarutkan dalam asam pekat kemudian dipanaskan dengan suhu dan tekanan tinggi 180°C selama ± 15 menit (Tyutyunik, 2013). Metode destruksi pada penelitian ini menggunakan *microwave*. Penggunaan *microwave* sendiri memiliki beberapa keunggulan, diantaranya kualitas yang dihasilkan pada proses destruksi tinggi, tidak ada unsur-unsur volatil yang hilang, waktu yang dibutuhkan untuk proses destruksi relatif singkat, dan memiliki persen recovery (tingkat akurasi) lebih tinggi daripada menggunakan metode destruksi basah terbuka (Berghof, 2005).

Analisis logam Kadmium (Cd) pada kerang hijau menggunakan *microwave digestion* ini juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu suhu dan waktu. Menurut Tyutyunik (2013), suhu dan waktu terbaik destruksi pada air sedimen menggunakan *microwave digestion* yaitu $>150^\circ\text{C}$ - $<170^\circ\text{C}$ dan 5-15

menit. Suhu dan waktu optimum pada *oven microwave digest* untuk menganalisa logam kadmium (Cd) adalah 180°C dan 15 menit. Diperoleh variasi suhu yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu 150°C, 180°C, dan 200°C dan untuk variasi waktu 10 menit, 15 menit, dan 20 menit.

Metode analisis secara kuantitatif dapat diukur berdasarkan penyerapan panjang gelombang tertentu oleh atom logam menggunakan alat Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Metode ini dapat digunakan untuk menentukan kadar logam kadmium (Cd) dalam sampel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui zat pengoksidasi terbaik dalam proses destruksi basah tertutup dengan variasi dan komposisi zat pengoksidasi yaitu HNO_3 p.a + H_2O_2 (1:1), HNO_3 p.a + H_2O_2 (2:1) HNO_3 p.a + H_2O_2 (3:1) untuk menentukan kadar kadmium (Cd) pada Kerang hijau (*Perna viridis*). Zat pengoksidasi terbaik yang diperoleh digunakan untuk analisis kadar kadmium (Cd) pada Kerang hijau (*Perna viridis*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah yang dalam penelitian “Analisis Logam Berat Kadmium (Cd) dalam Kerang hijau (*Perna viridis*)” adalah sebagai berikut:

1. Apa komposisi zat pengoksidasi, suhu dan waktu destruksi terbaik yang digunakan pada proses destruksi basah tertutup menggunakan *microwave digestion* untuk analisis kadmium (Cd) pada Kerang hijau (*Perna viridis*)?
2. Berapakah kadar kadmium (Cd) pada Kerang hijau (*Perna viridis*) secara Spektroskopi Serapan Atom (SSA) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui zat pengoksidasi, suhu dan waktu terbaik yang digunakan pada proses destruksi basah tertutup menggunakan *microwave digestion* untuk analisis kadmium (Cd) pada Kerang hijau (*Perna viridis*).
2. Untuk menentukan berapa kadar kadmium (Cd) pada Kerang hijau (*Perna viridis*) secara Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai zat pengoksidasi, suhu dan waktu terbaik yang digunakan pada proses destruksi basah tertutup menggunakan *microwave digestion* untuk analisis kadmium (Cd) pada Kerang hijau (*Perna viridis*).
2. Memberikan informasi mengenai kadar kadmium (Cd) pada sampel Kerang hijau (*Perna viridis*).

1.5 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih terarah, diperlukan batasan masalah. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel yang digunakan merupakan jenis Kerang hijau (*Perna viridis*) yang dibeli dari TPI (tempat pelelangan ikan) di pesisir pantai Lekok.
2. Dekstruksi yang digunakan adalah destruksi basa tertutup menggunakan *Microwave digestion*.

3. Variasi zat pengoksidasi yang digunakan dalam analisis cemaran logam kadmium (Cd) secara Spektroskopi Serapan Atom (SSA) adalah HNO_3 p.a + H_2O_2 (1:1), HNO_3 p.a + H_2O_2 (2:1) HNO_3 p.a + H_2O_2 (3:1).
4. Variasi suhu dan waktu yang digunakan dalam analisa cemaran logam berat kadmium (Cd) secara Spektroskopi Serapan Atom (SSA) adalah 160°C , 180°C , dan 200°C . Sedangkan untuk variasi waktu 10, 15, dan 20 menit

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Air laut

Pencemaran lingkungan adalah kontaminasi komponen fisik dan biologis dari sistem bumi atau atmosfer sedemikian rupa dimana proses lingkungan terganggu (Kemp, 1998). Menurut Santos (1990) pencemaran lingkungan adalah kontaminasi habitat, pemanfaatan sumber daya alam yang tidak dapat terurai. Pencemaran atau polusi adalah suatu kondisi yang telah berubah dari bentuk asal pada keadaan yang lebih buruk. Penggeseran bentuk tatanan dari kondisi asal pada kondisi yang buruk ini dapat terjadi sebagai akibat masukan bahan-bahan pencemar atau polutan. Bahan polutan tersebut pada umumnya mempunyai sifat racun atau toksik yang berbahaya bagi organisme. Toksisitas atau daya racun dari polutan itulah yang kemudian menjadi pemicu terjadinya pencemaran (Palar, 1994).

Dalam undang-undang lingkungan hidup dijelaskan bahwa suatu tatanan lingkungan hidup dikatakan tercemar apabila dalam tatanan lingkungan hidup tersebut, masuk atau dimasukkan suatu benda lain yang kemudian memberikan pengaruh buruk terhadap bagian-bagian yang menyusun tatanan lingkungan hidup. Sehingga organisme dan bagian-bagian penyusun yang terdapat didalamnya tidak dapat lagi hidup sesuai dengan habitat aslinya (Kristanto, 2002). Pencemaran air adalah penyimpangan sifat-sifat air dari keadaan normal, bukan

dari kemurniannya. Air yang tersebar di alam tidak pernah terdapat dalam bentuk murni, tetapi bukan berarti semua air tercemar atau terpolusi (Fardiaz, 1992).

Bila ditinjau dari asalnya, maka bahan pencemar yang masuk ke ekosistem laut dapat dibagi menjadi dua yaitu (Fitriyah, 2007):

1. Berasal dari laut itu sendiri, misalnya pembuangan sampah air ballas dari kapal, lumpur, buangan dari pertambangan laut.
2. Berasal dari kegiatan daratan, bahan pencemar dapat masuk ke ekosistem laut melalui udara atau terbawa oleh air (sungai, sistem *drainase*).

Adanya kontaminasi bahan-bahan pencemar dapat membuat kesehatan terganggu, terlebih lagi adanya kontaminasi dan logam. Kontaminasi logam merupakan salah satu aspek kimia yang harus diwaspadai karena adanya efek toksisitas yang tinggi terhadap organisme hidup. Logam seperti Hg, Cd, Pb, As, dan Cu pada konsentrasi tinggi dapat menimbulkan pengaruh toksisitas yang besar. Racun logam ini bersifat akumulatif dan menyebabkan berbagai penyakit degeneratif pada manusia (Nurjanah dkk., 2005).

Kabupaten Pasuruan terletak pada cekungan dan juga merupakan daerah yang terdekat dengan wilayah sungai Porong. Limbah yang terbawa dari sungai Porong ke laut kemungkinan akan masuk ke wilayah pantai dan sungai-sungai yang ada di Kabupaten Pasuruan, seperti perairan pantai Lekok Pasuruan sebagai salah satu penghasil kerang dan ikan yang cukup tinggi. Pantai Lekok mendapat masukan dari Sungai Rejoso serta beberapa anak sungai kecil lainnya dimana dibagian sebelumnya terdapat pemukiman penduduk, kegiatan industri dan pertanian yang juga berpotensi membuang limbahnya ke sungai yang akhirnya akan sampai ke laut, kawasan pesisir di Kecamatan Lekok merupakan suatu perairan pantai utara

Jawa Timur yang mempunyai nilai ekonomis yaitu sebagai tempat wisata dan merupakan salah satu perairan di Indonesia yang mempunyai hasil perikanan terbesar. Masyarakat sekitar menjadikan hasil biota lautnya sebagai sumber mata pencaharian. Namun sekarang banyak pencemaran terjadi karena banyaknya industri yang didirikan dengan penggunaan bahan kimia yang berbahaya, selain itu juga industri tersebut sering kali membuang limbah ke perairan Lekok dan sekitarnya. Pencemaran ini secara langsung maupun tidak langsung mengkontaminasi biota yang berada di laut (Sari W, 2013).

Berdasarkan hasil penelitian Siti, dkk (2016), diketahui bahwa konsentrasi kadmium (Cd) sebesar 0,0271- 0,0675 ppm pada air dan 0,0343- 0,1002 ppm pada sedimen yang berada di perairan Pasuruan. Dilihat dari nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa perairan Pasuruan tidak tercemar logam kadmium (Cd), dan memiliki potensi cemarannya.

2.2 Logam Berat

Logam berat ialah unsur logam dengan berat molekul tinggi. Dalam kadar rendah logam berat pada umumnya sudah beracun bagi tumbuhan dan hewan, termasuk manusia. Logam berat yang sering mencemari habitat ialah Hg, Cr, Cd, As, dan Pb (Am. Geol. Inst., 1976).

Menurut Darmono (1995), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diabsorpsi. Organisme pertama yang terpengaruh akibat penambahan polutan logam berat ke tanah atau habitat lainnya adalah organisme dan tanaman yang tumbuh di tanah serta hidup di habitat tersebut.

Dalam ekosistem alam terdapat interaksi antar organisme baik interaksi positif maupun negatif yang menggambarkan bentuk transfer energi antar populasi dalam komunitas tersebut. Dengan demikian pengaruh logam berat tersebut pada akhirnya akan sampai pada hierarki rantai makanan tertinggi yaitu manusia. Logam-logam berat diketahui dapat mengumpul didalam suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh untuk jangka waktu lama sebagai racun (Saeni, 1997).

Tabel 2.1 Batas maksimum cemaran logam berat pada biota-biota laut menurut Pemerintah RI (SNI, 2009):

Biota laut	Batas maksimum
	Logam Cd (mg/kg)
Ikan dan hasil olahannya	0,5
Ikan predator seperti cucut, tuna, marlin dan lain-lain	1,0
Kekerangan (bivalva), moluska dan teripang	1,0
Udang dan krustasea lainnya	1,0

2.2.1 Logam Berat Cd

Kadmium (Cd) merupakan unsur golongan IIB (logam) yang mempunyai bilangan oksidasi +2, ion dalam larutan tidak berwarna, dan senyawa dalam bentuk padatan tidak berwarna mencolok (Petrucchi, 1987). Cd mempunyai nomor atom 48, massa atom 112,4, kerapatan 8,64 g/cm³, titik cair 320, 90C, dan titik didih 7670C (Stoeppler, 1992). Di dalam air Cd hanya sedikit dan tidak bereaksi

dengan H_2O , melainkan hanya terhidrasi di dalamnya sebagai ion kompleks berikatan dengan CO_3^{2-} , Cl^- dan SO_4^{2-} . Keberadaan ion Cd^{2+} di dalam air tergantung kadar garam dan keasaman (pH). Air dengan kadar garam dan alkalinitas tinggi akan mempercepat spesiasi ion Cd^{2+} yaitu dengan membentuk pasangan ionnya (Marganof, 2003).

Kadmium adalah suatu logam putih, mudah dibentuk, lunak dengan warna kebiruan. Titik didih relatif rendah (767^0 C) membuatnya mudah terbakar, membentuk asap kadmium oksida. Kadmium dan bentuk garamnya banyak digunakan pada beberapa jenis pabrik untuk proses produksinya. Industri pelapisan logam adalah pabrik yang paling banyak menggunakan kadmium murni sebagai pelapis, begitu juga pabrik yang membuat Ni- Cd baterai. Bentuk garam Cd banyak digunakan dalam proses fotografi, gelas, dan campuran perak, produksi *foto-elektrik*, *foto-konduktor*, dan *fosforus*. Kadmium asetat banyak digunakan pada proses industri porselen dan keramik. Keberadaan kadmium di alam berhubungan erat dengan hadirnya logam Pb dan Zn. Dalam industri pertambangan Pb dan Zn, proses pemurniannya akan selalu memperoleh hasil samping kadmium yang terbuang dalam lingkungan. Kadmium masuk ke dalam tubuh manusia terjadi melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi. Untuk mengukur kadmium intake ke dalam tubuh manusia perlu dilakukan pengukuran kadar Cd dalam makanan yang dimakan atau kandungan Cd dalam faeces (Sudarwin, 2008).

2.3 Kerang

Kerang merupakan salah satu biota yang hidup di kawasan pesisir pantai. Menurut Weisz (1973) ciri-ciri umum Bivalvia (Kerang) yaitu hewan

lunak, sedentary, menetap pada sedimen, umumnya hidup di laut meskipun ada yang hidup di airtawar, mempunyai tonjolan di bagian dorsal, tidak memiliki tentakel, kaki otot berbentuk seperti lidah, terdiri dari mulut dan palps (lembaran berbentuk seperti bibir), memiliki radula, insang, dilengkapi dengan silis untuk filter feeding (makan dengan menyaring luatan), alat kelamin terpisah atau ada yang hermaphrodit, perkembangan lewat trocophora dan veliger pada perairan laut dan tawar.

Bivalvia atau lebih dikenal dengan nama kerang-kerangan, mempunyai dua keping atau belahan kanan dan kiri yang disatukan oleh satu engsel yang bersifat elastis disebut ligamen dan mempunyai dua otot yaitu abduktor dan adduktor dalam cangkangnya, yang berfungsi untuk membuka dan menutup kedua belahan cangkang tersebut (Barnes, 1985).

2.3.1 Taksonomi Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Kerang hijau (*Perna viridis*) mempunyai potensi besar untuk dimanfaatkan, karena populasinya cukup besar di perairan Indonesia (Kastoro, 1988). Lebih lanjut Asikin (1982), mengatakan bahwa budidaya kerang hijau relatif mudah dilakukan di perairan pantai. Kerang hijau merupakan organisme filter feeder, dimana cara mendapatkan makanan dengan memompa air melalui rongga mantel sehingga mendapatkan partikel partikel yang ada dalam air. Micro algae merupakan makanan utamanya, sedangkan makanan tambahan berupa zat organik terlarut dan bakteri.

Kerang hijau (*Perna viridis*) termasuk binatang lunak (Moluska) yang hidup di laut terutama pada daerah litoral, memiliki sepasang cangkang (bivalvia), berwarna hijau agak kebiruan. Insangnya berlapis-lapis (Lamellii branchia) dan

berkaki kapak (Pelecypoda) serta memiliki benang byssus. Kerang hijau adalah "suspension feeder", dapat berpindah-pindah tempat dengan menggunakan kaki dan benang "byssus", hidup dengan baik pada perairan dengan kisaran kedalaman 1 m sampai 7 m, memiliki toleransi terhadap perubahan salinitas antara 27-35 per mil (Power *et al.*, 2004).

Kerang hijau (*Perna viridis*) termasuk dalam kelas bivalvia atau pelecypoda. Barnes (1974) mengatakan bahwa bentuk kaki pelecypoda merupakan pelebaran dari bagian tubuh yang berbentuk pipih lateral seperti kapak kecil, disebut pelecypoda. Memiliki dua cangkang yang tipis dan simetris yang dapat dibuka tutup; dengan umbo yang melengkung ke depan. Memiliki persendian yang halus dengan beberapa gigi yang sangat kecil. Otot aduktor pada bagian anterior berukuran kecil, bahkan hampir tidak ada (Abbot, 1974). Menurut Barnes (1974), cangkang *Pernaviridis* berbentuk segitiga lonjong dengan garis-garis pertumbuhan pada cangkang bagian luar yang jelas, dimana pada *Perna viridis* dewasa memiliki bysus yang kuat untuk menempel. Di Indonesia kerang hijau (*P. viridis*) memiliki banyak nama daerah (*local commonname*), yaitu di daerah Riau dikenal dengan nama "kemudi kapal; di Banten dengan nama kedaung. Di Malaysia dikenal dengan nama "siput sudu"; di Filipina (tahong); di Thailand (*hoimong poo*) dan di Singapura dikenal dengan nama "tam cay" atau "chay luan" (Kastoro, 1982).

Kerang hijau dapat mencapai panjang maksimum 16,5 cm, tetapi umumnya ditemukan berukuran 8 cm (Gosling; 2004). Pada bagian tepi luar cangkang berwarna hijau, bagian tengahnya berwarna coklat, dan bagian dalam berwarna putih keperakan seperti mutiara (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Kerang Hijau

Klasifikasi *Perna viridis* adalah sebagai berikut (Barnes 1974):

Kerajaan (Kingdom) : Animalia

Filum (Phylum) : Moluska

Kelas (Class) : Bivalvia

Sub klas (Sub Class) : Lamellibranchiata

Bangsa (Ordo) : Anisomyria

Induk suku(Superfamily): Mytilacea

Suku (Family) : Mytilidae

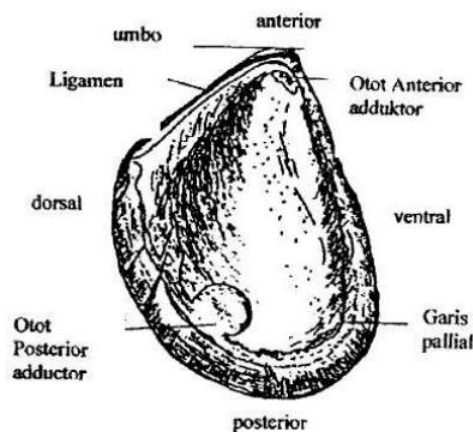
Anak suku (Sub family) : Mytilinae

Marga (Genus) : *Perna*

Jenis (species) : *Perna viridis*

Siddall (1980) menyatakan bahwa bentuk cangkang kerang hijau agak meruncing pada bagian belakang, berbentuk pipih pada bagian tepi serta dilapisi periostrakum pada bagian tengah cangkang. Pada fase juvenil, cangkang berwarna hijau cerah dan pada fase dewasa warna mulai memudar dan menjadi coklat dengan tepi cangkang berwarna hijau. Sedangkan pada bagian dalam cangkang berwarna hijau kebiruan. Memiliki garis ventral cangkang yang agak cekung dan keras

serta memiliki ligamen yang menghubungkan kedua cangkang kanan dan kiri. Bagian mulut dilengkapi dengan gigi yang berpautan, yaitu satu pada cangkang sebelah kanan dan 2 pada sebelah kiri. Suwignyo et al. (1984) menyatakan bahwa kerang hijau memiliki tiga otot yang berfungsi untuk menempelkan mantel pada cangkang. Pada bagian posterior yang tidak teratur bentuknya, terdapat garis pallial dan otot adduktor yang berbentuk seperti ginjal yang memberi bentuk pada jenis kerang hijau tersebut.



Gambar 2.2 Bagian-bagian cangkang kerang hijau (Gosling; 2004)

Romimohtarto & Juwana (1999) menyatakan bahwa bivalvia mempunyai 3 cara hidup, yaitu; (1) membuat lubang pada substrat seperti cacing kapal "*Teredo navalis*" (Shipworm); (2) melekat pada substrat dengan segmen seperti tiram (*Cassostrea* sp); (3) melekat pada substrat dengan benang bysus (*bissal threads*) seperti kerang kijau (*Perna viridis*). Kerang hijau hidup pada perairan estuari, teluk dan daerah mangrove dengan substrat pasir lumpuran serta salinitas yang tidak terlalu tinggi. Umumnya hidup menempel dan bergerombol pada dasar substrat yang keras, yaitu batu karang, kayu, bambu atau lumpur keras dengan bantuan bysus. Kerang hijau tergolong dalam organisme/hewan sesil yang hidup

bergantung pada ketersediaan zooplankton, fitoplankton dan material yang kaya akan kandungan organik. Benih kerang hijau akan menempel pada kedalaman 1,50-11,70 meter di bawah permukaan air pada saat pasang tertinggi. (Yang, 1975) menyatakan bahwa kedalaman ideal untuk penempelan kerang hijau adalah 2,45-3,96 meter.

Menurut Adi wijaya (2010), Kandungan gizi yang terdapat pada kerang hijau, yaitu terdiri dari 40,8 % air, 21,9 % protein, 14,5 % lemak, 18,5 % karbohidrat dan 4,3 % abu sehingga menjadikan kerang hijau sebanding dengan daging sapi, telur maupun daging ayam. Daging kerang hijau lebih sedikit apabila dibandingkan dengan daging lain, hanya sekitar 30% dari bobot keseluruhan (daging dan cangkang), tetapi dalam 100 gr daging kerang hijau mengandung 100 kalori yang tentunya sangat bermanfaat untuk ketahanan tubuh manusia. Kerang juga mengandung enzim tiaminase dalam jumlah besar yang dapat merusak vitamin B1 jika dikonsumsi dalam keadaan mentah.

2.4 Akumulasi Logam kadmium (Cd) dalam Kerang

Beberapa zat beracun yang telah mencemari perairan pantai sebagai akibat aktivitas antropogenik salah satunya adalah dari logam berat (Rahman, 2006). Pencemaran logam berat terhadap lingkungan erat hubungannya dengan eksploitasi logam berat itu sendiri. Seiring meningkatnya proses industrialisasi yang menggunakan logam berat, maka pencemaran logam beratpun cenderung meningkat. Pencemaran logam berat dapat menimbulkan kerusakan lingkungan, baik di lingkungan udara, air, dan tanah (Widowati, Sastiono dan Jusuf, 2008).

Kerang merupakan biota yang potensial terkontaminasi logam berat, karena hidupnya di dalam sedimen (lumpur) sehingga biota ini sering digunakan

sebagai hewan uji dalam pemantauan tingkat akumulasi logam berat pada organisme laut (Suprpti, 2008).

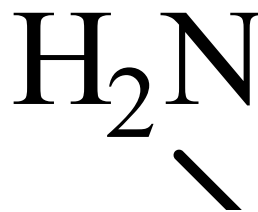
Biota perairan yang mempunyai peranan paling tinggi dalam penyerapan logam berat di perairan adalah jenis krustasea seperti kerang, kepiting dan beberapa jenis udang. Jenis biota laut seperti kerang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan karena populasinya cukup besar di perairan Indonesia dan dimanfaatkan sebagai sumber bahan makanan yang cukup banyak dikonsumsi oleh masyarakat karena harganya yang terjangkau dan berfungsi sebagai sumber protein bermutu tinggi (Nurjannah, 2017). Logam berat yang banyak mencemari perairan laut adalah logam Cd. Logam Cd merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena elemen ini beresiko tinggi terhadap pembuluh darah. Kadmium berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal (Noviak, 2011).

Kerang hijau dapat mengakumulasi logam berat, salah satunya logam kadmium (Cd) melalui habitat hidupnya, yaitu di air dan sedimen. Perbedaan kandungan logam berat pada kerang dapat dipengaruhi oleh ukuran kerang. Rudiyaniti (2009) menyatakan bahwa kerang berukuran kecil memiliki kemampuan akumulasi yang lebih besar dibandingkan dengan kerang yang berukuran lebih besar sehingga semakin besar ukuran kerang maka diduga semakin baik pula kemampuannya dalam mengeliminasi logam berat. (Suseno 2006) menyebutkan bahwa moluska berukuran kecil (muda) memiliki kemampuan untuk mengambil kontaminan lebih cepat dibandingkan moluska berukuran besar (tua) sehingga konsentrasi yang terdeteksi pada kerang berukuran kecil akan lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi logam berat dalam

kerang berukuran besar. Hal ini dibuktikan oleh penelitian Niswari (2004) yang menemukan bahwa kerang berukuran kurang dari 3 cm memiliki nilai indeks kematangan gonad paling tinggi yang menandakan bahwa kerang tersebut siap melakukan proses reproduksi. Proses reproduksi membutuhkan energi yang lebih banyak, sehingga kerang hijau pada selang ukuran 1.9–2.3 cm diduga menyerap lebih banyak makanan dari lingkungan sehingga memicu peningkatan akumulasi logam berat dalam tubuh kerang.

Kerang hijau merupakan salah satu komoditi hasil perikanan yang memiliki nilai gizi tinggi. Penelitian Tati, dkk (2011) menunjukkan bahwa kerang hijau mengandung protein sebanyak 11,75%. Hewan jenis *crustacea* yang terpapar logam berat cenderung meningkatkan sistem antibodi dengan lebih banyak mensintesa protein pertahanan berupa asam amino metionin dan sistein untuk mempertahankan diri (Laksono, dkk., 2017). Keberadaan kadmium pada tubuh didapat melalui proses penyerapan rantai makanan. Menurut Umar et al. (2001) logam berat yang masuk ke perairan akan mengalami pengendapan, pengenceran, dan dispersi kemudian diserap organisme di perairan tersebut. Dalam suatu organisme, logam berat yang masuk ke dalam tubuh diikat oleh protein yang disebut metalotionein. Metalotionein merupakan jenis protein yang berperan dalam mengatur metabolisme logam berat esensial dalam tubuh dan menghilangkan unsur-unsur beracun seperti kadmium dan timbal (Szitanyi, dkk., 1996). Metalotionein mengandung sekitar 26-33% asam amino sistein. Di dalam sistein terdapat gugus sulfhidril (-SH) atau tiol yang berfungsi mengikat ion logam. Kandungan sistein dan tiol yang tinggi menyebabkan daya afinitas yang tinggi terhadap kation bivalen sehingga mampu berikatan kuat dengan logam (Lasut,

2002). Menurut referensi (Giles, dkk., 2003) terjadilah reaksi yang dapat dilihat pada Gambar 4.6:



Gambar 4.6. Reaksi ikatan kompleks logam kadmium dengan sistein

Kadmium dapat terikat pada protein dan molekul organik lainnya dan membentuk garam dengan asam organik. Menurut Bettelheim, dkk (2010), logam berat dapat mendenaturasi protein dan berikatan dengan gugus sulfhidril pada protein membentuk jembatan garam. Pada asam amino, terjadi pertukaran

ion antara ion H^+ dengan ion logam (Tangio, 2013). Dalam protein struktural terdapat asam amino sistein yang mengandung gugus sulfhidril (-SH) yang berkemampuan untuk mengikat logam-logam berat (Bebiano et al., 1993). Asam amino sistein adalah asam amino yang mempunyai gugus sulfhidril (SH) yang bersifat hidrofilik. Sistein merupakan asam amino yang sangat peka dan akurat sebagai indikator pencemaran karena mengandung gugus thiol (sulfhidril, -SH) dalam jumlah yang besar, Kelompok thiol mengikat logam-logam berat dengan sangat kuat dan efisien, termasuk zink, merkuri, tembaga, dan kadmium. Residu sulfhidril dari cys mampu mengikat logam dimana satu ion logam diikat oleh tiga residu -S H atau satu ion logam dengan 2 residu -SH. Koordinasi pengikatan dari setiap ion logam melalui residu -S H yang ada pada cys, membentuk struktur tetrahedral tetrathiolate (Zatta, 2008).

Gugus sulfhidril (-SH) pada sistein sangat peka terhadap serangan radikal bebas yang bersumber dari adanya pencemaran lingkungan. Gugus sulfhidril (-SH) akan teroksidasi dengan melepas satu elektron atom H oleh radikal bebas (Lukitasari, 2009) kemudian atom sulfur pada sistein akan membentuk ikatan disulfida dengan adanya transfer elektron (Giles, dkk., 2003). Logam kadmium akan menyerang ikatan disulfida (Palar, 2004) dan berikatan dengan atom sulfur membentuk senyawa kompleks.

Pembentukan senyawa kompleks tersebut terjadi karena adanya reaksi antara ion Cd^{2+} dengan ligan sistein yang berikatan melalui ikatan kovalen koordinasi dengan adanya donor elektron dari ligan (Winarno, 1991). Atom sulfur pada sistein berperan sebagai atom donor yang berikatan dengan ion logam (Darmono, 1995).

2.4.1 Toksisitas Logam Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang paling banyak ditemukan pada lingkungan, khususnya lingkungan perairan, serta memiliki efek toksik yang tinggi, bahkan pada konsentrasi yang rendah (Almeida et al., 2009). Kadmium diketahui memiliki periode waktu yang panjang dalam tubuh organisme hidup (Patrick, 2003)

Jonak et al. (2004) menjelaskan bahwa kadmium tidak diketahui memiliki fungsi biologi di dalam sel tetapi memiliki sifat reaktif yang sangat tinggi dan dapat menonaktifkan berbagai macam aktivitas enzim yang diperlukan oleh sel. Setelah diabsorpsi, logam berat kadmium akan terakumulasi di dalam organ target kemudian menimbulkan toksisitas (Rico et al., 2002).

Logam berat dapat mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraiannya (Miettinen 1977). Darmono (1995) menyatakan bahwa daftar urutan toksisitas logam dari paling tinggi ke paling rendah terhadap manusia yang mengkonsumsi ikan adalah Hg^{2+} , Cd^{2+} , Ag^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , As^{2+} , Cr^{2+} , Sn^{2+} , Zn^{2+} . Sedangkan, menurut Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990) dalam Marganof (2003), logam berat yang bersifat toksik tinggi terdiri dari atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn.

Angin menggerakkan Cd di udara ke tanah dan air dalam bentuk partikulat. Pada manusia Cd masuk ke dalam tubuh melalui rokok, makan dan minuman yang mengandung Cd, udara yang dihirup, perhiasan, dan tempat kerja yang dapat memaparkan Cd. Partikel Cd yang sangat kecil dapat langsung masuk ke dalam paru-paru dan tubuh untuk kemudian ditransfer ke tulang, lever, dan ginjal (ATSDR, 1999; Wisconsin Public Health, 2000).

2.4.2 Akumulasi Logam Kadmium (Cd) dalam Tubuh

Kadmium dapat terakumulasi pada tubuh manusia. Logam ini dapat masuk kedalam tubuh manusia melalui 3 jalur yaitu :

1. Inhalasi

Kasus keracunan Kadmium kebanyakan disebabkan karena debu dan asap Kadmium terutama Kadmium oksida (Cd O) yang terhirup ke dalam saluran pernafasan (Darmono, 2001). Kadmium akan mengendap pada mukosa nasofaring, trakea, bronkus alveoli, dan kemudian akan diserap ke dalam darah (Widowati, dkk., 2008).

2. Oral

Kadmium dapat masuk ke dalam tubuh melalui makanan yang telah terkontaminasi oleh logam Cd dan atau persenyawaan (Darmono, 1995). Merokok juga menjadi sumber masuknya Kadmium ke dalam tubuh. Hampir 50 % asap rokok diserap paru-paru. Perokok biasanya memiliki darah yang mengandung Kadmium dua kali lipat orang yang tidak merokok (ATSDR, 2008).

3. Penetrasi melalui kulit

Kadmium dapat diserap melalui kulit. Namun intensitas penyerapan melalui kulit hanya sekitar 0,5 %. Paparan selama beberapa jam atau lebih dapat memperbesar resiko penyerapan Kadmium melalui kulit (ATSDR, 2008).

Kadmium bergabung dengan timbal (Pb) dan merkuri (Hg) sebagai *the big three heavy metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia (Suhendrayatna, 2001). Keracunan logam Kadmium dapat menimbulkan bahaya bagi tubuh manusia baik akut maupun kronis. Efek akut adalah efek yang timbul dalam jangka waktu pendek. Sedangkan efek kronis adalah efek yang terjadi

akibat paparan logam Kadmium dengan dosis kecil dalam waktu yang lama. Menurut Sudarmaji, dkk. (2006) keracunan akut akibat paparan Kadmium adalah sesak nafas, tenggorokan kering, radang paru-paru, sakit kepala, menggigil dan kematian. Sementara itu, efek kronis yang ditimbulkan akibat keracunan Kadmium adalah kemampuan indra penciuman menurun, berat badan menurun, dan gigi sering terasa ngilu. Selain itu efek kronis yang dapat terjadi adalah gangguan ginjal, reproduksi, paru-paru dan kerapuhan pada tulang (Palar, 2004).

2.5 Metode Destruksi Basah dan Variasi Larutan Pengoksidasi

Salah satu cara untuk mengukur kadar logam berat di lingkungan adalah dengan menggunakan metode destruksi basah dengan larutan asam, yaitu melarutkan atau mendestruksi contoh uji menggunakan asam kuat dan dipanaskan, kemudian larutan hasil destruksi tersebut diukur konsentrasi logamnya menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Pada umumnya, asam yang digunakan dalam preparasi contoh uji sebagai reagen pendestruksi antara lain, HNO_3 , HCl , H_2SO_4 , HF , HClO_4 , $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$, $\text{HNO}_3\text{-HF}$, $\text{HNO}_3\text{-HCl}$. Tujuan dari proses destruksi adalah untuk mendapatkan larutan yang tercampur sempurna dengan analit, dekomposisi yang sempurna dari padatan, dan menghindari hilangnya atau terjadinya kontaminasi analit. Metode destruksi basah dapat dilakukan secara terbuka maupun tertutup (Rodiana dkk, 2013).

2.5.1 Destruksi Basah Tertutup (*Microwave Digestion*)

Penentuan kandungan mineral dilakukan dengan metode destruksi kering (*dry ashing*) dan destruksi basah (*wet digestion*). Pemilihan cara tersebut tergantung pada sifat zat organik dan anorganik yang ada dalam bahan mineral

yang akan dianalisis (Muchtadi, 2009). Destruksi basah yaitu pemanasan sampel organik atau biologis dengan pengoksidasi kuat seperti asam-asam mineral baik tunggal maupun campuran. Jika dalam sampel ditambahkan zat pengoksidasi, kemudian dipanaskan pada temperatur tertentu secara kontinu selama waktu yang cukup lama, maka sampel akan teroksidasi sempurna meninggalkan berbagai elemen-elemen pada larutan asam dalam bentuk senyawa anorganik (Anderson, 1987). Kesempurnaan destruksi ditandai dengan diperolehnya larutan jernih pada larutan destruksi, yang menunjukkan bahwa semua konstituen yang ada telah larut sempurna atau perombakan senyawa-senyawa organik telah berjalan dengan baik. Senyawa-senyawa garam yang terbentuk setelah destruksi merupakan senyawa garam yang stabil (Raimon, 1993).

Menurut Berghof (2005), metode destruksi dengan menggunakan *microwave* memiliki beberapa keunggulan, antara lain: kualitas destruksinya tinggi, tidak ada unsur-unsur volatil yang hilang dan waktu yang dibutuhkan untuk proses destruksi relatif singkat yaitu sekitar 20-40 menit dibanding metode destruksi konvensional yang membutuhkan waktu lebih dari 24 jam. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa nilai persen perolehan kembali (%*recovery*) analisis logam berat menggunakan metode *microwave digestion* memiliki nilai akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan destruksi asam terbuka.

Prinsip kerja dari *microwave* yaitu dengan melewati radiasi gelombang mikro pada molekul air, lemak, maupun gula yang terdapat pada sampel. Molekul-molekul ini akan menyerap energi elektromagnetik. Penyerapan energi tersebut dinamakan pemanasan dielektrik. Molekul-molekul pada sampel bersifat elektrik dipole yang artinya molekul memiliki muatan negatif pada satu sisi dan

muatan positif pada sisi lainnya. Akibatnya molekul-molekul tersebut akan berputar pada saat mensejajarkan diri dengan adanya medan listrik yang berubah-ubah yang diinduksi melalui gelombang mikro. Gerakan molekul ini menyebabkan gesekan dan menciptakan panas (Kingston, R.S. 1997).

Mekanisme pemanasan gelombang mikro pada *microwave* disebabkan adanya agitasi molekul-molekul polar atau ion-ion yang bergerak karena adanya gerakan medan magnetik atau elektrik. Adanya gerakan medan magnet dan elektrik menyebabkan partikel-partikel mencoba mensejajarkan dengan medan tersebut. Pergerakan partikel-partikel tersebut dibatasi oleh gaya pembatas (interaksi partikel dan ketahanan dielektrik). Hal ini menyebabkan gerakan partikel tertahan dan mengakibatkan gerakan acak sehingga menghasilkan panas (Taylor, 2005).

2.5.2 AnalisisKadmium (Cd) Menggunakan Variasi Larutan Pengoksidasi

Batas deteksi (LOD) merupakan konsentrasi analit terkecil yang dapat dideteksi dengan kepercayaan statistik. Menurut Harvey (1956), *The International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) mendefinisikan batas deteksi sebagai konsentrasi terkecil yang memiliki sinyal secara signifikan lebih besar daripada sinyal blanko. Secara matematis, persamaan batas deteksi adalah sebagai berikut:

$$(S_A)_{DL} = S_{reag} + z\sigma_{reag} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana S_{reag} adalah sinyal blanko, σ_{reag} adalah standar deviasi untuk sinyal blanko, dan z adalah faktor yang memperhitungkan tingkat kepercayaan yang diinginkan berdasarkan tingkat signifikansi batas deteksi. Nilai z yang biasa digunakan adalah 3 dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,00135$ pada tabel distribusi

normal (Lampiran 9). Tingkat signifikansi ini menunjukkan probabilitas kesalahan 0,135%. Probabilitas kesalahan ini mengikuti aturan distribusi normal. Sehingga, nilai z yang digunakan tidak boleh kurang dari 3 karena tingkat kepercayaan yang dihasilkan akan menjadi lebih rendah dan tidak terdistribusi normal (Winefordner dan Long, 1983).

Beberapa larutan yang biasa digunakan dalam destruksi basah antara lain *aqua regia*, asam nitrat (HNO_3), asam sulfat (H_2SO_4), asam perklorat (HClO_4), dan asam hidroklorida (HCl).

1. *Aqua regia*

Aqua regia merupakan reagen yang disiapkan dengan mencampur 3 bagian HNO_3 dan 1 bagian HCl . *Aqua regia* merupakan campuran senyawa yang sangat reaktif yang berasal dari kekuatan oksidasi HNO_3 dan kompleks Cl^- dari HCl sehingga menghasilkan produk reaktif seperti Cl_2 dan NOCl yang memiliki kemampuan oksidasi lebih tinggi dari asam pembentukannya. Campuran ini dapat melarutkan sebagian besar alloy, logam, sulfida, dan beberapa biji besi (Namik, 2006).

2. Asam Nitrat (HNO_3)

Asam nitrat pekat merupakan larutan pengoksidasi yang biasa digunakan untuk melarutkan unsur logam umum kecuali aluminium, kromium, gallium, indium, dan thorium, unsur tersebut larut sangat lambat karena membentuk lapisan pelindung oksidasi (Patnaik, 2004).

3. Asam Sulfat (H_2SO_4)

Asam sulfat biasanya digunakan untuk melarutkan senyawa organik, kebanyakan logam dapat larut bila digunakan asam sulfat pekat panas. Asam

sulfat pekat efektif sebagai pelarut bila suhunya mencapai titik didih (sekitar 340°C) (Patnaik, 2004).

4. Asam Perklorat (HClO_4)

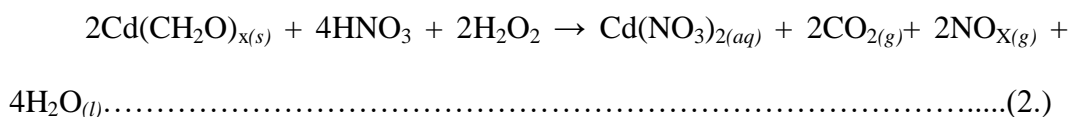
Asam perklorat panas merupakan agen pengoksidasi dan pelarut yang baik yang dapat menyerang banyak logam dan baja. Akan tetapi, perlakuan sampel menggunakan asam perklorat harus dilakukan dengan pelindung khusus (Patnaik, 2004).

Menurut Hidayat (2016), proses untuk mendegradasi sampel organik dan melarutkan logam-logam yang terdapat dalam sampel akan lebih baik jika menggunakan kombinasi asam sebagai zat pengoksidasi daripada menggunakan asam tunggal karena akan memberikan kekuatan asam yang lebih baik sehingga mempermudah proses analisis logam dalam sampel.

Demirel (2008) mengatakan bahwa, campuran asam HNO_3 - H_2O_2 dapat menghasilkan %recovery yang paling baik jika dibandingkan dengan campuran asam lain seperti HNO_3 - HCl dan HNO_3 - HClO_4 . Hal ini dibuktikan dengan salah satu penelitian yang dilakukan oleh Wulandari et. al. (2009), sampel kerang darah pada muara Banjir Kanal Timur Semarang di destruksi dengan campuran larutan tersebut yaitu 10 mL HNO_3 p.a + 5 mL H_2O_2 (2:1), menghasilkan kadar kadmium yakni 16,770 ppm. Pada *microwave digestion system*, peneliti Clarice dkk (2016) sampel kerang di destruksi menggunakan campuran larutan 7 mL HNO_3 p.a + 7 mL H_2O_2 (1:1) yang menghasilkan kadar maksimum kadmium sebesar 12,1 ppm. Sedangkan pada penelitian Irsyad (2012) pada sampel ikan bandeng muara sungai Banjir Kanal Timur Semarang didapatkan kadar kadmium sebesar 1,408 ppm dengan campuran larutan 5 mL HNO_3 p.a + 5 mL H_2O_2 (1:1) sampel dilarutkan

dalam asam pekat kemudian dipanaskan dengan suhu dan tekanan tinggi 180°C selama ± 15 menit (Tyutyunik, 2013). Hasil dari ketiga penelitian tersebut melebihi ambang batas yang ditentukan yaitu 1,5 mg/kg.

Logam-logam yang terdapat dalam sampel akan membentuk kompleks dengan bahan organik. Sehingga adanya penambahan asam sebagai zat pengoksidasi dalam proses destruksi ini akan menyebabkan logam-logam tersebut terdekomposisi dari bahan organik. Menurut (Wulandari dan Sukei, 2013), penambahan HNO_3 pada sampel berfungsi untuk memutus ikatan senyawa kompleks organologam. Penambahan asam nitrat yang bersifat sebagai oksidator kuat dan disertai dengan adanya pemanasan pada proses destruksi akan mempercepat pemutusan ikatan organologam menjadi anorganik. Sedangkan penambahan H_2O_2 berfungsi sebagai agen pengoksidasi yang menyempurnakan reaksi (Tanase, dkk, 2004) dan menghilangkan sisa padatan organik sehingga larutan sampel menjadi jernih (Araujo, G. C., dkk, 2002). Menurut Rifqi, dkk (2015), reaksi yang terjadi pada senyawa organik dengan adanya penambahan asam nitrat (HNO_3) dan hydrogen peroksida (H_2O_2) adalah sebagai berikut:



2.6 Analisis Kadmiums (Cd) secara Spektroskopi Serapan Atom

Spektroskopi serapan atom adalah suatu metode yang digunakan untuk analisis kuantitatif unsur-unsur logam (Gandjar dan Rohma, 2007). Metode analisis ini memberikan kadar total unsur logam Cd dalam suatu sampel dan tidak tergantung pada bentuk molekul dari logam dalam sampel tersebut. Metode ini seringkali mengandalkan nyala untuk mengubah logam dalam larutan sampel

menjadi atom-atom logam berbentuk gas yang digunakan untuk analisis kuantitatif dari logam dalam sampel. Pemilihan metode Spektroskopi serapan atom dikarenakan mempunyai sensitivitas yang tinggi, mudah, murah, sederhana, cepat, dan cuplikan yang dibutuhkan sedikit (Supriyanto, dkk., 2007). Hal pertama yang dilakukan dalam penentuan kadar logam Kadmium (Cd) pada panjang gelombang 228,8 nm adalah pengaturan alat Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

Nuraini (2009), menyatakan bahwa dengan pengaturan alat SSA ini maka akan diperoleh populasi atom pada tingkat tenaga dasar yang paling banyak dalam nyala api yang dilewati oleh radiasi. Atom-atom akan menyerap energi radiasi yang khas dan kemudian berubah ke keadaan transisi. Semakin banyak atom pada keadaan dasar maka radiasi yang diserap semakin banyak pula. Pada kondisi optimum akan diperoleh serapan yang maksimum. Kondisi optimum pada alat SSA memiliki beberapa parameter yang meliputi panjang gelombang, laju alir pembakaran, laju alir oksidan, kuat arus lampu katoda cekung (*Hollow Cathode Lamp*), lebar celah dan tinggi pembakaran *burner* (Khopkar, 1990). Bila atom dari suatu unsur dalam keadaan dasar (ground state) dikenai radiasi, maka atom akan menyerap energi dan menyebabkan elektron pada kulit terluar naik ke tingkat energi yang lebih tinggi atau disebut dengan keadaan tereksitasi (excited state). Perbedaan energi antara keadaan dasar dan keadaan tereksitasi sama dengan besarnya energi yang diserap (Hayati dan Dewi, 2009).

Apabila cahaya pada panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom bebas yang bersangkutan maka sebagian cahaya akan diserap dan intensitas penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom

bebas logam dalam sel (konsentrasi). Hubungan antara penyerapan cahaya dan konsentrasi di nyatakan oleh hukum Lambert–Beer (Noor, 1989):

$$I = I_0 e^{-a b c} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$A = \text{Log } I_0 / I = a. b. c. \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

I = Intensitas cahaya yang sampai pada detector

I_0 = Intensitas cahaya dari sumber sinar

A = Absorban

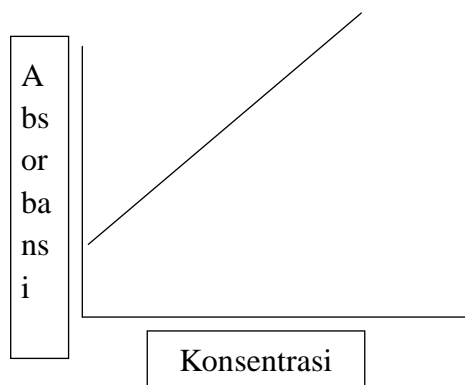
a = Konstanta absorptivitas

b = Panjang medium absorpsi

c = Konsentrasi

Dalam analisis unsur dengan panjang gelombang tertentu, absorptivitas (a) dan panjang medium absorpsi (b) telah tertentu pula, sehingga nilai a dan b dalam persamaan di atas adalah tetap. Dengan demikian maka A sebanding dengan konsentrasi (c). Penentuan konsentrasi larutan sampel dilakukan dengan cara membandingkan nilai absorban (a) larutan sampel tersebut dengan nilai A dari larutan baku standar yang telah diketahui konsentrasinya. Selanjutnya dari A larutan baku tersebut di buat kurva kalibrasi yaitu grafik hubungan antara absorban terhadap konsentrasi larutan baku yang merupakan sebuah garis lurus. Nilai absorban dari larutan sampel kemudian dialurkan pada grafik kurva kalibrasi tersebut sehingga konsentrasi larutan sampel dapat di tentukan (Van Loon, J.C, 1980).

Metode kurva kalibrasi ini diawali dengan pembuatan seri pengenceran larutan standar timbal yang kemudian diukur menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) menghasilkan absorbansi yang memiliki hubungan linear dengan konsentrasi analit yang diukur berdasarkan hukum Lambert-Beer. Serangkaian larutan standar yang diukur kemudian diplotkan menjadi sebuah kurva kalibrasi berdasarkan perhitungan matematis tertentu. Kurva kalibrasi yang dihasilkan digunakan untuk menentukan konsentrasi sampel berdasarkan absorbansi yang dihasilkan oleh sampel melalui persamaan regresi linier (Stone D. dan J. Ellis, 2008). Adapun grafik hubungan antara konsentrasi dengan absorbansi, yang merupakan garis lurus melewati titik nol dengan slope = b , dapat ditunjukkan pada gambar kurva standar berikut (Syahputra, 2004):



Gambar 2.3 Kurva Standar

2.7 Analisis One Way Annova

Analisis varian atau Annova adalah metode analisis statistika yang termasuk dalam cabang statistika inferensi. Annova (*Analysis Of Variances*) digunakan untuk melakukan analisis komparasi multivariabel. Uji dalam annova

menggunakan uji F untuk pengujian lebih dari dua sampel. Karena teknik analisis komparatif dengan menggunakan uji t yakni dengan mencari perbedaan yang signifikan dari dua buah mean hanya efektif bila jumlah variabelnya dua, maka untuk mengatasi hal tersebut ada teknik analisis yang lebih baik yaitu *Analysis Of Variances* atau Annova.

Annova satu arah (*one way annova*) digunakan untuk melakukan analisis dengan satu variabel bebas dan satu variabel terikat. Analisis menggunakan uji annova dapat diperoleh kesimpulan:

1. Apabila H_0 ditolak dan $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka faktor tersebut berpengaruh terhadap suatu variabel
2. Apabila H_0 diterima dan $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka faktor tersebut tidak berpengaruh terhadap suatu variabel

Nilai % *recovery* yang lebih besar dari 100% atau hasil pengukuran lebih besar dari konsentrasi sebenarnya dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya yaitu ketidakpastian dalam kurva standar, seperti kalibrasi dalam penggunaan alat maupun pembacaan skala. Hal ini juga dapat dipengaruhi oleh temperatur yang menyebabkan adanya ketidakpastian baku.

Adapun faktor-faktor lain yang menyebabkan ketidaktepatan dan ketidaktepatan dalam pengukuran menurut Nak (2015), adalah sebagai berikut:

- Penimbangan yang tidak benar serta pemindahan analit dan baku yang tidak sesuai
- Penggunaan ekstrak analit dari suatu matriks yang tidak efisien
- Penggunaan pipet, labu takar, dan buret yang tidak benar
- Pengukuran menggunakan alat yang tidak terkalibrasi

- Kegagalan dalam melakukan analisis blanko
- Pemilihan kondisi pengukuran yang menyebabkan kerusakan analit
- Kegagalan untuk menghilangkan gangguan oleh bahan tambahan dalam pengukuran analit.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Oktober - Desember 2018 di Laboratorium Kimia Analitik dan Laboratorium Instrumen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah blender, neraca analitik, oven, labu ukur, pipet tetes, pipet mikro, pipet volume dan alat-alat gelas laboratorium lainnya, perangkat *microwave digestion*, serta perangkat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kerang hijau (*Perna viridis*) berbagai macam ukuran, larutan HNO_3 pekat 65%, larutan H_2O_2 30%, larutan standar timbal (Cd), aquades, dan aquabides.

3.3 Rancangan Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian lapangan dan experimental laboratory, dengan menggunakan sampel kerang dengan berbagai macam ukuran, yaitu ukuran kecil (<4cm), sedang (4cm), besar (>4cm) yang diambil di TPI (tempat pelelangan ikan) Pantai Lekok Kabupaten Pasuruan. Logam kadmium (Cd) dalam kerang hijau didestruksi menggunakan metode destruksi basah tertutup yaitu *microwave digestion* dengan variasi larutan pengoksidasi 6 mL HNO_3 p.a + 6 mL H_2O_2 (1:1), 8 mL HNO_3 p.a + 4 mL H_2O_2 (2:1) 9 mL HNO_3 p.a + 3 mL H_2O_2

(3:1) variasi suhu 150, 180, dan 200°C, dan variasi waktu destruksi selama 10, 15, dan 20 menit. Kadar logam kadmium (Cd) dalam kerang hijau dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL), yang terdiri dari satu faktor yaitu jenis larutan pengoksidasi.

Adapun proses penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut: Pembuatan larutan induk Timbal (Cd) dilakukan dengan cara dilarutkan dalam asam nitrat pekat. Selanjutnya dibuat kurva standar dengan memipet larutan induk 0,1 mL; 0,2 mL; 0,5 mL; 1 mL; dan 2 mL dan diencerkan dengan asam nitrat 0,5 N, lalu diuji dengan Spektrofotometer Serapan Atom pada panjang gelombang 228,8 nm.

Langkah selanjutnya preparasi sampel dengan cara kerang dipisahkan dari cangkangnya, dibersihkan, dihaluskan, kemudian dimasukkan ke dalam *vessel*. Selanjutnya menentukan oksidator terbaik dengan metode destruksi basah tertutup menggunakan *microwave digestion* variasi larutan campuran 6 mL HNO₃ p.a + 6 mL H₂O₂ (1:1), 8 mL HNO₃ p.a + 4 mL H₂O₂ (2:1) 9 mL HNO₃ p.a + 3 mL H₂O₂ (3:1). Kerang sebanyak 0,5 gram ditimbang kemudian ditambahkan larutan HNO₃ pekat dan H₂SO₄ di dalam *vessel*, lalu dimasukkan ke dalam *Microwave Digestion System* dan didestruksi pada suhu 180° C selama 15 menit sampai larutan jernih. Dilanjutkan dengan penentuan suhu dan waktu destruksi terbaik yaitu 150, 180, dan 200° C serta 10, 15, dan 20 menit dengan penambahan larutan pengoksidasi terbaik yang diperoleh pada analisis sebelumnya. Ditentukan konsentrasi kadmium (Cd) menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom pada panjang gelombang 228,8 nm.

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi:

1. Pengambilan dan preparasi sampel
2. Pengaturan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)
3. Pembuatan kurva standar Kadmium (Cd)
4. Penentuan jenis larutan pengoksidasi terbaik pada Kadmium (Cd) dalam sampel Kerang hijau (*Perna viridis*)

5. Penentuan kadar kadmium (Cd) dalam sampel Kerang hijau (*Perna viridis*)
6. Analisis data

3.5 Cara Kerja

3.5.1 Pengambilan dan Preparasi Sampel

Kerang hijau (*Perna viridis*) diambil dengan berbagai macam ukuran yaitu kecil kecil (<4cm), sedang (4-6cm), besar (>6cm) dari nelayan yang berada di Pantai Lekok Kabupaten Pasuruan. Masing-masing kerang hijau dipisahkan dari cangkangnya dan dibersihkan dengan air, kemudian dihaluskan dengan blender (Nurjannah, 2017).

3.5.2 Pengaturan Alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Pengaturan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) yaitu meliputi panjang gelombang Kadmium (Cd) pada 228,8 nm, laju alir asetilen pada 2,0 L/menit, laju alir udara pada 10,0 L/menit, lebar celah pada 0,5 nm, dan kuat arus 10 mA (Varian, 2010).

3.5.3 Pembuatan Kurva Standar Kadmium $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$

Larutan baku standar Kadmium (Cd) 10 mg/L dibuat dengan cara memindahkan 1 mL larutan baku Cd 1000 mg/L ke dalam labu ukur 10 mL dan ditanda bataskan dengan asam nitrat sehingga diperoleh larutan baku induk dengan konsentrasi 10 mg/L. Dari larutan baku timbal 10 mg/L, kemudian masing-masing dipipet 10; 30; 50; 70; 90; 110; dan 130 μL lalu dimasukkan dalam labu ukur 10 mL, diencerkan dengan asamnitrat hingga 10 mL sehingga didapatkan larutan dengan konsentrasi 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,1; dan 1,3 mg/L. Selanjutnya serapan dari masing-masing konsentrasi diukur dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

3.5.4 Penentuan Jenis Larutan Pengoksidasi Terbaik pada Kadmium (Cd) dalam Sampel Kerang hijau (*Perna viridis*)

Tiga jenis ukuran kerang hijau masing-masing ditimbang sebanyak 1 gram kemudian di campurkan dan ditimbang sebanyak 0,5 gram, setelah itu ditambahkan 12 mL larutan pengoksidasi sesuai pada tabel 3.1, dimasukkan ke dalam *vessel* dan didestruksi dalam *Microwave Digestion System* pada suhu 180° C selama 15 menit. Kemudian larutan hasil destruksi didinginkan pada suhu ruang

lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL dan diencerkan dengan asam nitrat sampai tanda batas. Kemudian larutan disaring dalam labu ukur 25 mL menggunakan membran filter. Filtrat yang dihasilkan diukur kadar Cd terlarut pada panjang gelombang 228,8 nm menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing sampel, sehingga dilakukan analisis sampel sebanyak 9 kali. Adapun zat pengoksidasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Larutan Pendestruksi 12 mL	Kadar Logam Kadmium (Cd) ($\mu\text{g/g}$)		
	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
6 mL HNO_3 p.a + 6 mL H_2O_2 (1:1)			
8 mL HNO_3 p.a + 4 mL H_2O_2 (2:1)			
9 mL HNO_3 p.a + 3 mL H_2O_2 (3:1)			

Berdasarkan hasil pada tabel 3.1, selanjutnya dianalisis dengan metode uji varian one way annova untuk mengetahui apakah penggunaan variasi larutan pendestruksi pada metode destruksi basah tertutup menggunakan *Microwave Digestion System* mempunyai pengaruh dalam pembacaan konsentrasi Cd terukur dengan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

3.5.5 Penentuan Suhu Destruksi Terbaik pada Kadmium (Cd) dalam Sampel Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Sampel kerang hijau ukuran kecil, sedang, dan besar masing-masing ditimbang 1 gram, dicampur, dan diambil 0,5 gram, dimasukkan ke dalam *vessel* kemudian ditambahkan dengan 12 mL larutan pendestruksi terbaik, dan dimasukkan ke dalam *microwave digestion system* lalu didestruksi pada variasi suhu 160, 180, dan 200°C pada waktu tetap (15 menit). Kemudian larutan hasil destruksi yang diperoleh didinginkan pada suhu ruang lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL dan diencerkan dengan asam nitrat sampai tanda batas. Larutan tersebut disaring dalam labu ukur 25 mL menggunakan membran filter. Filtrat yang dihasilkan diukur kadar Cd terlarut pada panjang gelombang 228,8 nm menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Perlakuan dilakukan

sebanyak 3 kali pada masing-masing sampel, sehingga dilakukan analisis sampel sebanyak 9 kali. Adapun variasi suhu destruksi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Variasi suhu destruksi

Suhu Destruksi	Kadar Logam Kadmium (Cd) ($\mu\text{g/g}$)		
	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
160°C			
180°C			
200°C			

Berdasarkan hasil pada tabel 3.2, selanjutnya dianalisis dengan metode uji varian *one way annova* untuk mengetahui apakah penggunaan variasi suhu destruksi pada metode destruksi basah tertutup menggunakan *microwave digestion system* mempunyai pengaruh dalam pembacaan konsentrasi Cd terukur dengan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

3.5.6 Penentuan Waktu Destruksi Terbaik pada Kadmium (Cd) dalam Sampel Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Sampel kerang hijau ukuran kecil, sedang, dan besar masing-masing ditimbang 1 gram, dicampur, dan diambil 0,5 gram, dimasukkan ke dalam *vessel* kemudian ditambahkan dengan 12 mL larutan pendestruksi terbaik, dan dimasukkan ke dalam *Microwave Digestion System* lalu didestruksi pada suhu destruksi terbaik pada variasi waktu destruksi 10, 15, dan 20 menit. Kemudian larutan hasil destruksi yang diperoleh didinginkan pada suhu ruang lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL dandencerkan dengan asam nitrat sampai tanda batas. Larutan tersebut disaring dalam labu ukur 25 mL menggunakan membran filter. Filtrat yang dihasilkan diukur kadar Cd terlarut pada panjang gelombang 228,8 nm menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing sampel, sehingga dilakukan analisis sampel sebanyak 9 kali. Adapun variasi waktu destruksi yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.3 Variasi waktu destruksi

Waktu Destruksi	Kadar Logam Kadmium (Cd) ($\mu\text{g/g}$)
-----------------	--

	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
10 menit			
15 menit			
30 menit			

Berdasarkan hasil pada tabel 3.3, selanjutnya dianalisis dengan metode uji varian *one way annova* untuk mengetahui apakah penggunaan variasi waktu destruksi pada metode destruksi basah tertutup menggunakan *microwave digestion system* mempunyai pengaruh dalam pembacaan konsentrasi Cd terukur dengan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

3.5.7 Penentuan Kadar Kadmium (Cd) pada Masing-masing Ukuran Sampel Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Sampel kerang hijau dengan variasi ukurankecil (<4cm),ukuran sedang (4cm), ukuran besar (>4cm) masing-masing ditimbang 0,5 gram, dimasukkan ke dalam *vessel* kemudian ditambahkan dengan 12 mL larutan pendestruksi terbaik, dan dimasukkan ke dalam *microwave digestion system* lalu didestruksi pada suhu dan waktu destruksi terbaik. Kemudian masing-masing larutan hasil destruksi yang diperoleh didinginkan pada suhu ruang lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL dandencerkan dengan asam nitrat sampai tanda batas. Larutan tersebut disaring dalam labu ukur 25 mLmenggunakan membran filter. Filtratyang dihasilkan diukur kadar Cd terlarut pada panjang gelombang 228,8 nm menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing sampel, sehingga dilakukan analisis sampel sebanyak 9 kali. Adapun variasi ukuran kerang yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.4 Variasi ukuran kerang

Ukuran Kerang Hijau	Kadar Logam Kadmium (Cd) ($\mu\text{g/g}$)		
	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
Ukuran besar (>4 cm)			
Ukuran sedang (4 cm)			
Ukuran kecil (<4 cm)			

Berdasarkan hasil pada tabel 3.4, selanjutnya dianalisis dengan metode uji varian *one way annova* untuk mengetahui apakah penggunaan variasi ukuran kerang pada metode destruksi basah tertutup menggunakan *microwave digestion system* mempunyai pengaruh dalam pembacaan konsentrasi Cd terukur dengan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

3.5.8 Analisis Data

Analisis dilanjutkan menggunakan uji varian *one way annova* untuk mengetahui pengaruh variabel bebas (jenis pengoksidasi, variasi suhu, waktu, dan ukuran) terhadap konsentrasi Cd terukur dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penentuan pengaruh larutan pengoksidasi

- Jika H_0 ditolak, maka ada pengaruh variasi zat pengoksidasi terhadap kadar Kadmium (Cd).
- Jika H_0 diterima, maka tidak ada pengaruh variasi zat pengoksidasi terhadap kadar Kadmium (Cd).

2. Penentuan pengaruh suhu destruksi

- Jika H_0 ditolak, maka ada pengaruh variasi suhu destruksi terhadap kadar Kadmium (Cd).
- Jika H_0 diterima, maka tidak ada pengaruh variasi suhu destruksi terhadap kadar Kadmium (Cd).

3. Penentuan pengaruh waktu destruksi

- Jika H_0 ditolak, maka ada pengaruh variasi waktu destruksi terhadap kadar Kadmium (Cd).
- Jika H_0 diterima, maka tidak ada pengaruh variasi waktu destruksi terhadap kadar Kadmium (Cd).

4. Penentuan pengaruh Kadar Kadmium (Cd) dalam masing-masing Ukuran Sampel

- Jika H_0 ditolak, maka ada pengaruh ukuran sampel terhadap kadar Kadmium (Cd).
- Jika H_0 diterima, maka tidak ada pengaruh ukuran sampel terhadap kadar Kadmium (Cd).

Berdasarkan hubungan konsentrasi (C) dan absorbansi (A) dari data kurva standar, dapat diketahui nilai slope dan intersep. Kemudian konsentrasi sampel dapat diketahui dengan memasukkan ke dalam persamaan regresi linier yaitu:

$$y = ax + b \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana: y = absorbansi sampel
 b = slope
 x = konsentrasi sampel (dari instrumen)
 a = intersep

Berdasarkan perhitungan regresi linier, maka dapat diketahui kadar logam yang sebenarnya dengan rumus umum:

$$\text{Kadar Kadmium } (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{Konsentrasi } \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}}\right) \times \text{Fp} \times \text{Volume (mL)}}{\text{berat (g)}} \quad (3.2)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui variasi komposisi larutan pendestruksi, suhu destruksi, dan waktu destruksi terbaik pada kerang hijau (*Perna viridis*) menggunakan *microwave digestion* untuk mengetahui kandungan logam kadmium yang terdapat di dalam kerang hijau dengan kadar tertinggi. Kadar logam kadmium dalam kerang dikelompokkan berdasarkan beberapa ukuran untuk menentukan hasil dari variasi terbaik. Kadar kadmium dalam kerang dapat diukur menggunakan spektroskopi serapan atom (AAS).

4.1 Pengambilan dan Preparasi Sampel

Sampel yang diamati adalah kerang hijau yang diambil pada bulan November 2019 Yang diperoleh di TPI (tempat pelelangan ikan) Pantai Lekok Kabupaten Pasuruan. Teknik pengambilan sampel kerang dalam penelitian ini dilakukan secara acak dengan berbagai ukuran untuk mewakili populasi kerang hijau yang akan diamati di Pantai Lekok, Kabupaten Pasuruan. Kerang hijau segar sendiri ditemukan melimpah pada perairan pesisir, daerah mangrove dan muara sungai. Proses pengambilan dilakukan oleh nelayan menggunakan tangan ketika air laut sedang surut. Variasi sampel kerang yang digunakan yaitu ukuran kecil (1,0-3,0 cm), sedang (4,0 cm), dan besar (lebih dari 4,0 cm).

Sampel kerang hijau hanya diambil bagian daging saja yang merupakan bagian yang dapat dikonsumsi, Sampel kerang dengan masing-masing ukuran ini dibersihkan terlebih dahulu, kemudian direbus menggunakan akuademin selama 3

menit untuk mempermudah proses pengupasan, kemudian dipisahkan daging kerang dari cangkangnya, dan dihaluskan menggunakan *blender*. Sampel masing-masing ukuran yang telah dihaluskan selanjutnya ditimbang. Berat sampel kerang berukuran 1,0-3,0 cm adalah 274,34 gram, berat sampel berukuran 4,0 cm adalah 109,39 gram, dan berat sampel berukuran lebih dari 4,0 cm yang diperoleh adalah 85,83 gram. Sampel dimasukkan ke dalam plastik klip, diberi label dan disimpan ke dalam *freezer*.

Sampel digunakan untuk pengujian variasi larutan pendestruksi, suhu destruksi, dan waktu destruksi terbaik menggunakan campuran dari berbagai kelompok ukuran kerang untuk mewakili keseluruhan jenis sampel, sedangkan untuk pengujian kadar kadmium berdasarkan variasi ukuran kerang menggunakan masing-masing ukuran kerang yang telah dihaluskan tanpa ada pencampuran sampel.

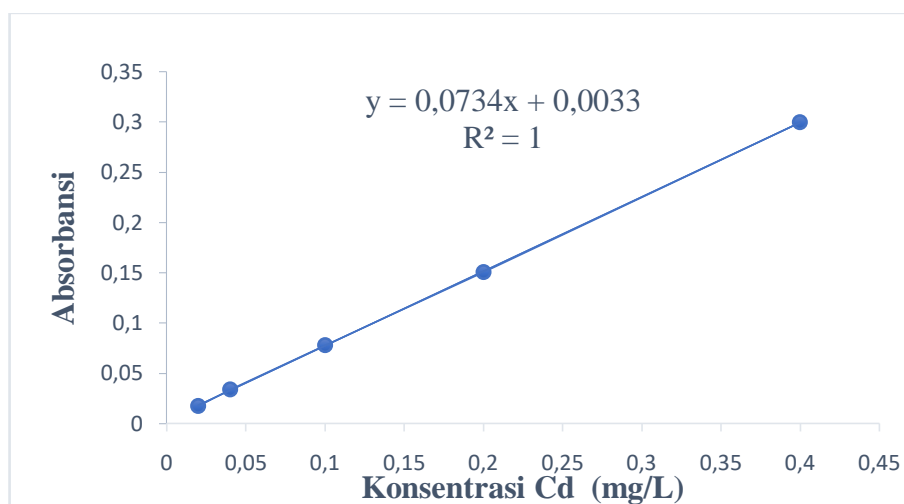
4.2 Pembuatan Kurva Standar Kadmium (Cd)

Pembuatan kurva standar terlebih dahulu diawali dengan membuat seri pengenceran larutan standar timbal dan kadmium. Pengenceran dilakukan dari larutan induk dan dibuat 6 konsentrasi larutan. Pengenceran dilakukan dengan hati-hati dan teliti agar memberikan hasil yang kuantitatif. Untuk kadmium dibuat konsentrasi larutan standar 0,02; 0,04 mL; 0,1 mL; 0,2 mL; dan 0,4 mL dari larutan stok Cd 10 mg/L. Konsentrasi ini dipilih agar hasil serapan dapat mencakup hasil serapan sampel yang akan dianalisis.

Pengukuran serapan dilakukan dengan spektroskopi serapan atom (SSA) pada panjang gelombang yang spesifik untuk masing-masing logam. Pengukuran

kadmium dilakukan pada panjang gelombang 228,8 nm. hasil pengukuran serapan kemudian diplot lalu diperoleh kurva standar dan persamaan garis linearnya.

Kurva standar dibuat dengan persamaan regresi linier yaitu $y = ax + b$, dimana y adalah absorbansi sedangkan a dan b merupakan konstanta yang akan ditentukan oleh nilai slope. Perbandingan antara nilai absorbansi dengan larutan standar akan menghasilkan kurva garis lurus. Data yang diperoleh kemudian dibuat kurva kalibrasi dengan membandingkan konsentrasi larutan standar (x) terhadap absorbansinya (y), sehingga dapat ditentukan persamaan garis regresi linier tersebut. Kurva kalibrasi logam timbal dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Kurva Standar Logam Kadmium (Cd)

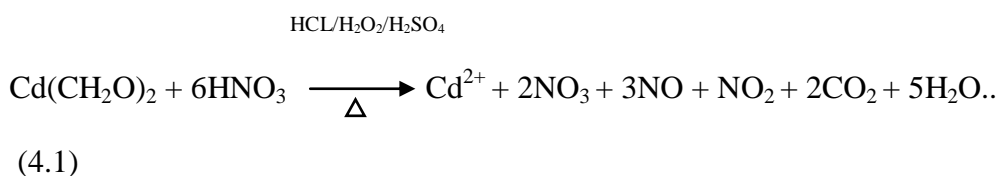
Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi semakin tinggi pula nilai absorbansi, sehingga diperoleh persamaan regresi linier $y = 0,0734x + 0,0033$, dimana y adalah absorbansi, a adalah *slope*, x adalah konsentrasi, dan b adalah *intersep*. Dari persamaan tersebut, nilai koefisien korelasi (r) adalah 1 dimana nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan tersebut linier. Persamaan regresi linier tersebut selanjutnya dapat digunakan

untuk menghitung konsentrasi sampel karena adanya hubungan linier antara konsentrasi (C) dengan absorbansi (A). Uji linearitas dilakukan dengan menghitung faktor-faktor kelinearan garis yang bertujuan untuk membuktikan hubungan yang linier antara konsentrasi dengan absorbansi dari data kurva standar. Hubungan tersebut dapat ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi (r) dan persamaan regresi linier. Persamaan regresi linier yang terbentuk dari Gambar 4.1 adalah $y = 0,0734x + 0,0033$ dengan nilai $r = 1$. Sensitivitas yang diperoleh dari pembuatan kurva standar Cd ditunjukkan dengan nilai *slope* (kemiringan) sebesar 0,0734. Nilai tersebut menunjukkan setiap perubahan konsentrasi (sumbu x) akan memberikan perubahan terhadap nilai absorbansi (sumbu y) sebesar 0,0734.

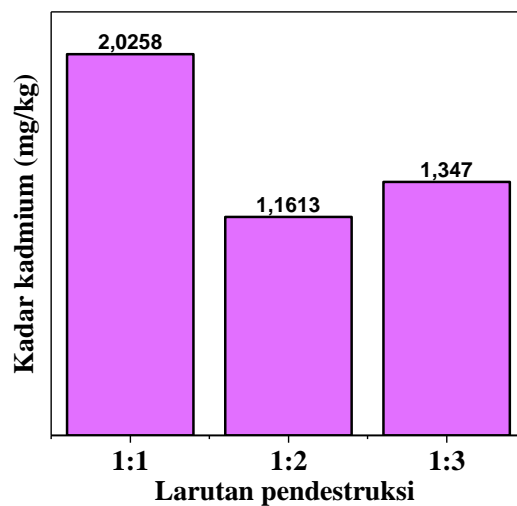
4.3 Penentuan Larutan Pendestruksi Terbaik

Larutan pendestruksi terbaik berasal dari asam-asam kuat baik tunggal maupun campuran. Logam Cd akan dipisahkan dari sampel dengan larutan pendestruksi tersebut, kemudian logam Cd akan larut ke dalam filtrat. Larutan pendestruksi yang digunakan pada penelitian ini yaitu asam nitrat pekat dan asam peroksida dengan beberapa variasi komposisi, diantaranya komposisi 1:1, 2:1, dan 3:1. Penggunaan variasi zat pengoksidasi dinilai lebih efektif dibandingkan dengan zat pengoksidasi tunggal. Berdasarkan penelitian Dewi (2012), campuran pengoksidasi HNO_3 p.a + H_2SO_4 p.a (3:1) menghasilkan kadar Pb yang lebih besar daripada pengoksidasi tunggal HNO_3 p.a dalam destruksi sampel leci. Sedangkan asam nitrat dipilih karena sifat kadmium yang mudah larut di dalamnya. Asam lain seperti asam peroksida berfungsi untuk menyempurnakan destruksi. Tujuan adanya variasi komposisi larutan adalah untuk mengetahui komposisi terbaik

dengan diperolehnya kadar logam tertinggi pada sampel berdasarkan komposisi larutan pendestruksi. Proses destruksi sampel dilakukan menggunakan *microwave*. Energi panas pada *microwave* akan mempercepat proses destruksi sehingga sampel akan hancur dan larut dalam filtrat. Proses ini dilakukan pada suhu 180° C selama 30 menit yang merupakan suhu dan waktu optimum dalam proses destruksi menurut Low, dkk (2012) dan Lazarus, dkk (2013). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Logam Kadmium yang berikatan pada senyawa organik dengan adanya penambahan HNO_3 akan terdekomposisi menjadi CO_2 dan H_2O akan terputus. Ion logam Kadmium akan larut dalam larutan asam membentuk senyawa garam anorganik akan membentuk $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$. HNO_3 sebagai oksidator akan mengalami reduksi dengan perubahan bilangan oksidasi +5 menjadi +4. Begitu juga dengan H_2O_2 yang bersifat oksidator akan mengalami reduksi dengan perubahan bilangan oksidasi -1 menjadi -2 dan menyebabkan terbentuknya air (Vogel, 1985). Sedangkan logam Cd akan mengalami oksidasi menjadi bentuk garamnya yang bermuatan +2. HNO_3 yang menghasilkan gas CO_2 dan NO akan meningkatkan tekanan dalam proses destruksi, sehingga logam Cd akan mengalami dekomposisi dari senyawa organik dalam sampel membentuk $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ yang larut dalam air dan larutan yang dihasilkan menjadi jernih. Adapun hasil kadar timbal dalam sampel dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik kadar rata-rata kadmium dalam kerang hijau variasi larutan pendestruksi

Sedangkan hasil analisis statistik menggunakan *one way annova* ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil uji *one way annova* variasi larutan pendestruksi

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.000	2	0.000	15,101	0.005
Within Groups	0.000	6	0.000		
Total	0.000	8			

Berdasarkan dari data di atas, dapat diketahui bahwa nilai statistic uji F adalah sebesar 15,101 dengan probabilitas (sig) sebesar 0,005. Dalam hal ini, nilai F tabel sebesar 5,14. Nilai F tabel dilihat pada tabel F dengan data 2 dan 6, yang kemudian didapatkan nilai 5,14.

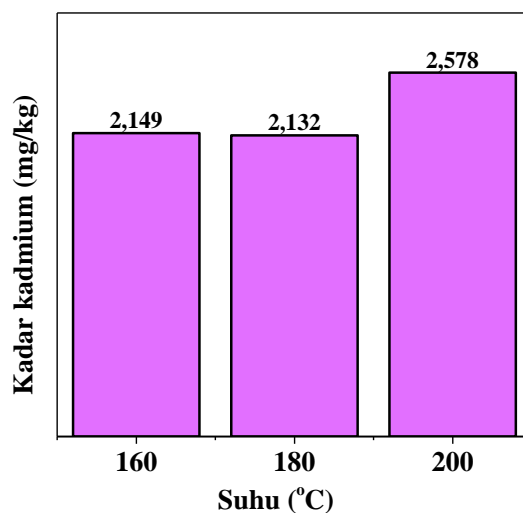
Jadi, nilai F hitung (15,101) > F tabel (5,14), sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Jadi minimal ada satu pengaruh variasi larutan pendestruksi terhadap kadar timbal dalam sampel.

Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa komposisi larutan HNO_3 dan H_2O_2 (1:1) menunjukkan hasil yang paling besar. Jumlah larutan HNO_3 dengan penambahan H_2O_2 yang cukup banyak dibandingkan variasi komposisi lainnya menghasilkan kadar timbal dengan nilai tertinggi. HNO_3 berfungsi sebagai oksidator kuat yang mengoksidasi ikatan antara logam dengan senyawa organik dalam sampel. Sedangkan H_2O_2 juga berperan sebagai oksidator yang membantu dan menyempurnakan reaksi dalam proses destruksi (Tanase, dkk., 2004). H_2O_2 akan terurai pada suhu 100°C menjadi H_2O dan O_2 . Molekul air akan bereaksi dengan gas NO_2 membentuk HNO_3 dan HNO_2 . HNO_3 akan mendestruksi bahan organik yang tersisa. HNO_2 akan terurai menjadi NO_2 dan NO . Proses ini akan terus berlanjut hingga semua senyawa organik selesai terdestruksi (wulandari dan sukesi, 2013). Penggunaan H_2O_2 ini dapat meningkatkan kemampuan oksidasi dan meningkatkan kinerja disolusi (pelepasan senyawa dan pelarutan) dari asam nitrat (Anderson, 1991). Selain itu, H_2O_2 yang ditambahkan akan mengikat elektron menghasilkan H_2O (Perdana, dkk., 2014) yang berfungsi untuk melarutkan logam nitrat. Semakin banyak jumlah H_2O_2 maka hasil kadar timbal yang diperoleh semakin tinggi. Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Lindawati, (2017), hasil kadar logam kadmium pada kerang menggunakan larutan tunggal HNO_3 adalah sebesar $0,06 \pm 0,03$ mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan campuran larutan pendestruksi HNO_3 dan H_2O_2 memiliki kemungkinan menghasilkan kadar logam yang lebih tinggi.

4.4 Penentuan Suhu Destruksi Terbaik

Variasi suhu dalam destruksi kerang hijau memiliki tujuan untuk mengetahui suhu terbaik dalam proses destruksi dengan hasil kadar kadmium

tertinggi. Proses ini menggunakan perbandingan larutan pendestruksi terbaik HNO_3 dan H_2O_2 (1:1) dan menghasilkan kadar kadmium yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik kadar rata-rata kadmium dalam kerang hijau variasi suhu destruksi

Sedangkan hasil analisis *one way annova* yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil uji *one way annova* variasi suhu destruksi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.018	2	0.009	8.649	0.017
Within Groups	0.006	6	0.001		
Total	0.024	8			

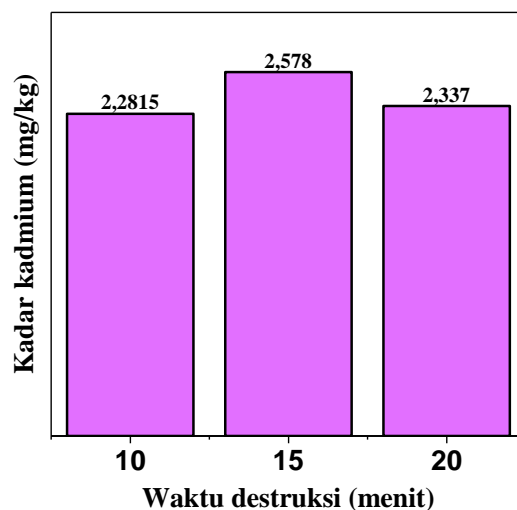
Berdasarkan dari data di atas, dapat diketahui bahwa nilai statistic uji F adalah sebesar 8,649 dengan probabilitas (sig) sebesar 0,017. Dalam hal ini, nilai F tabel sebesar 5,14. Nilai F tabel dilihat pada tabel F dengan data 2 dan 6, yang kemudian didapatkan nilai 5,14. Jadi, nilai F hitung (8,649) > F tabel (5,14),

sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Jadi minimal ada satu pengaruh variasi suhu destruksi terhadap kadar kadmium dalam sampel.

Pemanasan pada *microwave* sendiri terjadi karena adanya interaksi radiasi gelombang mikro dengan material dalam sampel (Mello,dkk.,2014) sehingga interaksi tersebut akan semakin cepat seiring dengan meningkatnya suhu. Berdasarkan data tersebut, hasil kadar kadmium tertinggi terdapat pada suhu 200° C, kemudian suhu 160° C, dan yang terendah terdapat pada suhu 180° C. Peningkatan suhu pada proses destruksi akan meningkatkan tekanan, sehingga karena adanya proses dekomposisi termal yang terjadi, molekul dalam sampel semakin cepat dan logam semakin mudah larut (Rodiana, dkk., 2013). Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk proses dekomposisi ikatan logam dengan senyawa organik energi yang dibutuhkan akan semakin banyak seiring dengan semakin tingginya suhu, sehingga ikatan antara kadmium dengan senyawa organik semakin mudah putus. Dengan rusaknya senyawa organik maka logam Kadmium yang terlepas dari kompleks polimer organik juga semakin banyak, sehingga kadar Kadmium yang di dapatkan juga semakin tinggi.

4.5 Penentuan Waktu Destruksi Terbaik

Variasi waktu dalam destruksi kerang hijau memiliki tujuan untuk mengetahui waktu terbaik dalam proses destruksi dengan hasil kadar logam kadmium tertinggi dalam sampel. Proses ini menggunakan perbandingan larutan pendestruksi terbaik HNO_3 dan H_2O_2 (1:1) dan suhu destruksi terbaik yaitu 200° C menghasilkan kadar kadmium yang ditampilkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik kadar rata-rata kadmium dalam kerang hijau variasi waktu destruksi

Adapun hasil analisis statistik menggunakan *one way annova* dapat dilihat pada Tabel 4.5.

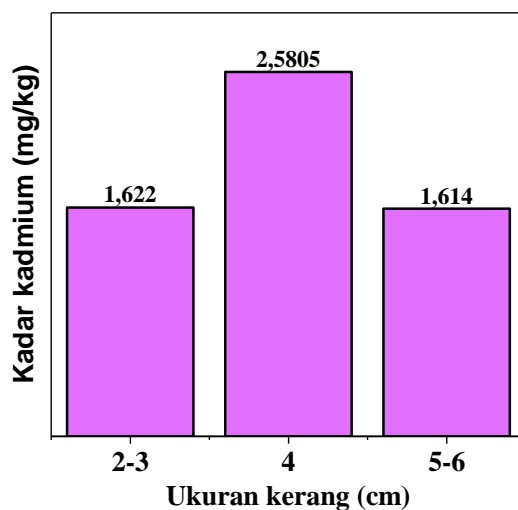
Tabel 4.5 Hasil uji *one way annova* variasi waktu destruksi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.016	2	0.08	4,719	0.059
Within Groups	0.010	6	0.02		
Total	0.026	8			

Berdasarkan dari data di atas, dapat diketahui bahwa nilai statistic uji F adalah sebesar 4,719 dengan probabilitas (sig) sebesar 0,059. Dalam hal ini, nilai F tabel sebesar 5,14. Nilai F tabel dilihat pada tabel F dengan data 2 dan 6, yang kemudian didapatkan nilai 5,14. Jadi, nilai F hitung ($4,719 < 5,14$), sehingga H_0 diterima atau tidak terdapat pengaruh variasi waktu destruksi terhadap kadar kadmium dalam sampel.

4.6 Penentuan Kadar Kadmium dalam Kerang Hijau Berdasarkan Ukuran

Penentuan kadar kadmium pada masing-masing ukuran dalam sampel kerang hijau dilakukan menggunakan campuran larutan pendestruksi terbaik yaitu HNO_3 dan H_2O_2 (1:1), suhu destruksi terbaik yaitu 200°C , dan waktu destruksi terbaik 20 menit menghasilkan kadar timbal yang ditampilkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik kadar rata-rata kadmium dalam kerang hijau berdasarkan ukuran

Adapun hasil analisis *one way annova* yang diperoleh dapat ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil uji *one way annova* berdasarkan variasi ukuran kerang

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.000	2	0.000	33,576	0.001
Within Groups	0.000	6	0.000		
Total	0.000	8			

Berdasarkan dari data di atas, dapat diketahui bahwa nilai statistic uji F adalah sebesar 33,576 dengan probabilitas (sig) sebesar 0,001. Dalam hal ini, nilai F tabel sebesar 5,14. Nilai F tabel dilihat pada tabel F dengan data 2 dan 6, yang kemudian didapatkan nilai 5,14.

Jadi, nilai F hitung ($33,576$) $>$ F tabel ($5,14$), sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Jadi minimal ada satu pengaruh ada satu pasang ukuran kerang yang menghasilkan kadar Cd akhir yang berbeda signifikan. Data grafik pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa kadar kadmium tertinggi terdapat pada kerang berukuran sedang yaitu 4,0 cm sedangkan kadar kadmium terendah diperoleh pada kerang berukuran kecil yaitu 1,0-3,0 cm. Ukuran kerang yang kecil akan mengakumulasi logam dalam jumlah yang lebih sedikit daripada ukuran besar. Namun, pada ukuran kerang 4,0 cm hasil kadar logam yang diperoleh lebih tinggi daripada kerang berukuran lebih dari 3,0 cm. Hal ini diperkuat dengan adanya teori efek dilusi pertumbuhan yang dikemukakan oleh Brix dan Lyngby (1985) dan Otchere (2003) bahwasanya jika pertumbuhan lebih cepat dari laju akumulasi, maka beban logam di dalam tubuh akan meningkat seiring dengan umur, sedangkan konsentrasi logam akan berkurang seiring dengan pertumbuhan bobot atau ukuran panjang. Menurut Niswari (2004), kerang yang memiliki ukuran kurang dari 3,0 cm siap melakukan bereproduksi karena memiliki nilai indeks paling tinggi kematangan gonadnya sehingga membutuhkan lebih banyak asupan makanan. Makanan yang masuk tersebut dapat meningkatkan akumulasi logam kadmium. Gonad merupakan organ yang berperan dalam proses reproduksi (Widasari, dkk., 2013). Suatu organisme akan mengalami peningkatan ukuran gonad dan tubuh seiring dengan semakin banyaknya asupan makanan yang dikonsumsi organisme tersebut, hingga dapat mencapai tingkat kematangan gonad yang siap untuk proses pemijahan (Akbar, dkk., 2014).

Pemijahan sendiri adalah proses pengeluaran sel telur induk betina dan sperma oleh induk jantan yang kemudian di ikuti dengan perkawinan. Sehingga,

untuk ukuran kerang yang besar telah mengalami proses pemijahan, karena kurangnya asupan makanan yang dikonsumsi yang menyebabkan potensi logam yang terakumulasi lebih rendah, sehingga ukuran dari berat tubuhnya berkurang. Selain itu, Rudiyanthi (2009) menjelaskan bahwa semakin besar ukuran kerang, maka kemampuan kerang dalam mengeliminasi logam berat didalam tubuhnya semakin baik, sehingga hasil kadar logam kadmium yang diperoleh pada kerang berukuran lebih dari 3,0 cm lebih rendah daripada kerang berukuran kecil (1,0-3,0 cm) maupun berukuran sedang (4,0 cm).

Kadar kadmium dalam kerang pada ukuran sedang (4,0 cm) sebesar 2,5805 mg/kg melebihi ambang batas akumulasi logam kadmium, batas maksimum cemaran Cd berdasarkan SNI No. 7387 tahun 2009 untuk pangan jenis kerang kerangan (*bivalvia*), moluska dan teripang adalah 1,0 mg/kg (1,0 ppm). Sedangkan untuk ukuran kecil dan besar, kadar kadmium yang diperoleh juga berada di atas ambang batas. Hasil kadar kadmium dalam kerang pada variasi larutan pendestruksi, suhu destruksi, maupun waktu destruksi terbaik menunjukkan hasil kadar yang melebihi ambang batas yang ditetapkan. Dari data tersebut menunjukkan bahwa kerang darah yang berukuran sedang (4,0 cm) di Pantai Lekok, Kabupaten Pasuruan tidak aman untuk dikonsumsi.

Kerang hijau, *Perna viridis* merupakan organisme laut yang sangat ideal sebagai *eco-sentinel organism* dalam monitoring bahan pencemar di lingkungan perairan laut. Kerang hijau hidup sebagai *filter feeder* yang menyerap apa saja yang ada disekitarnya. Di sisi lain ia adalah biota laut yang hidup *sedentary*, melekat pada suatu substrat dengan organ yang disebut bisus. Dengan karakter hidup sebagai *filter feeder* yang *sedentary*, tidak memungkinkan bagi kerang

hijau menghindari bahan pencemar yang ada di sekitarnya dengan cara bergerak ke habitat lain yang lebih bersih dari bahan pencemar (Nicholson, *et al.*, 2005). Logam berat berat Cd memiliki afinitas yang tinggi terhadap gugus sulfidril, sehingga logam berat akan berikatan dengan belerang (gugus sulfihidril) dalam enzim, sehingga enzim menjadi imobile, gugus karboksilat (-COOH) dan amino (-NH₃) yang terdapat banyak didalam tubuh juga bisa bereaksi dengan logam berat yang selanjutnya akan terakumulasi pada tubuh makhluk hidup dan akan mengganggu proses fisiologis dalam tubuh (Riani *et al.* 2017) Kontaminasi logam berat pada kerang hijau juga telah mengakibatkan terjadinya kecacatan pada embrio, dan malformasi (Cordova 2011) Logam berat yang diabsorpsi dari perairan ke dalam tubuh biota akan melewati membran-membran sel yang tersusun dari molekul lipid dan molekul protein. Di dalam sel, logam berat akan membentuk ikatan kompleks dengan molekul protein dalam kerang. Logam berat akan berikatan dengan metalotinein melalui residu sistein (Francesconi, 2007). Metalotinein merupakan jenis protein yang berperan dalam mengatur metabolisme logam berat esensial dalam tubuh dan menghilangkan unsur-unsur beracun seperti kadmium dan timbal (Szitanyi, dkk., 1996). Metalotinein mengandung sekitar 26-33% asam amino sistein. Di dalam sistein terdapat gugus sulfhidril (-SH) atau tiol yang berfungsi mengikat ion logam. Kandungan sistein dan tiol yang tinggi menyebabkan daya afinitas yang tinggi terhadap kation bivalen sehingga mampu berikatan kuat dengan logam (Lasut, 2002).

Logam berat masuk kedalam jaringan tubuh makhluk hidup melalui beberapa jalan yaitu saluran pernafasan, pencernaan dan penetrasi melalui kulit. Di dalam tubuh hewan logam diabsorpsi darah, berikatan dengan protein darah

yang kemudian didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh (Darmono, 2001). Tubuh biota perairan memiliki jumlah logam yang terakumulasi dan akan terus mengalami peningkatan dengan adanya proses biomagnifikasi di badan perairan. Disamping itu, tingkatan biota dalam sistem rantai makanan turut menentukan jumlah Cd yang terakumulasi, dimana pada biota yang lebih tinggi stratanya akan ditemukan akumulasi Cd yang lebih banyak, sedangkan pada biota top level (manusia) merupakan tempat akumulasi paling besar. Bila jumlah Cd yang masuk tersebut telah melebihi nilai ambang maka biota dari suatu level tersebut mengalami kematian dan bahkan kemusnahan. Logam kadmium (Cd) juga akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup (tumbuhan, hewan, dan manusia) (Palar, 2004).

4.7 Kajian Hasil Penelitian Kadmium dalam Kerang Hijau menurut Perspektif Islam

Salah satu kriteria manusia beroreantasi akhirat yang diajarkan melalui nash Al-qur'an ialah manusia yang Ulil Albab. Manusia Ulil Albab merupakan suatu figure dan kriteria manusia yang patut dijadikan contoh dalam kehidupan di dunia. Manusia ulil albab terdiri dari tiga kata, yaitu manusia, Ulil dan Albab. Secara Bahasa istilah manusia dalam alqur'an disebutkan dalam beberapa penyebutan antara lain insan, annas, dan basyar. Penyebutan *insan/ins* disebutkan sebanyak 65 kali didalam alqur'an. Sementara *basyar* disebutkan sebanyak 35 kali sedangkan *an-nas* disebutkan sebanyak 240 kali.

Seperti yang telah dijelaskan pada Q.S Ali- Imran ayat 190-191 yang berbunyi:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِيَ الْأَلْبَابِ

Artinya: Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal,

Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi yang tanpa ada contoh sebelumnya dan dalam pergantian malam dan siang dan perbedaan waktu keduanya dengan memanjang dan memendek benar-benar merupakan petunjuk-petunjuk dan bukti-bukti yang agung atas ke Esa-an Allah bagi orang yang mempunyai akal-akal yang selamat (Tafsir al-Muyassar).

Berdasarkan ayat diatas (ali Imran:190-191), mereka yang disebut Manusia *Ulil albab* senantiasa menggunakan akalnya untuk mentadabburi, mengobservasi, memikirkan, menghayati, mengintrospeksi akan adanya sesuatu yang telah diciptakan oleh sang Khaliq yaitu Allah swt. Manusia *ulil albab* tersebut senantiasa terbenak dalam mindsetnya bahwa semua yang ada di alam semesta ini yang telah diciptakan oleh Allah swt, tidak ada satupun yang sia sia. Semua makhluk yang Allah swt ciptakan meskinnya dan pastinya ada kebermanfaatan dan kebermaslahatan. Mereka yang menggunakan akal sebagai perenungan menuju kebermanfaatan dan kebermaslahatan adalah Manusia Ulil Albab.

Dewasa ini, lingkungan hidup sudah banyak mengalami kerusakan. Jika dibiarkan terus-menerus, hal ini akan menimbulkan dampak yang sangat besar pada ekosistem. Adanya kontaminasi bahan-bahan pencemar dapat membuat kesehatan terganggu, terlebih lagi adanya kontaminasi dan logam. Kontaminasi logam merupakan salah satu aspek kimia yang harus diwaspadai karena adanya efek toksisitas yang tinggi terhadap organisme hidup.

Ayat mengenai kerusakan lingkungan pun telah dijelaskan pada Q.S Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ

يَرْجِعُونَ

Artinya: Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).

Arti dan tafsiran ayat diatas sesuai dengan kondisi sekarang dimana telah tampak kerusakan di darat dan di laut, baik kota maupun desa, disebabkan karena perbuatan tangan manusia yang dikendalikan oleh hawa nafsu dan jauh dari tuntunan fitrah. Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari akibat perbuatan buruk mereka, agar mereka kembali ke jalan yang benar dengan menjaga kesesuaian perilakunya dengan fitrahnya (Shihab, 2012).

Kadar rata-rata logam kadmium pada kerang hijau yang diperoleh berdasarkan penelitian pada ukuran kerang 2,0-3,0 cm adalah 1,6226 mg/kg, ukuran 4,0 cm sebesar 2,5805 mg/kg, dan pada ukuran lebih dari 5,0- 6,0 cm sebesar 1,614 mg/kg. Kadar logam kadmium yang diperoleh pada ukuran kerang 2,1-6,0 cm telah melebihi ambang batas sehingga berbahaya untuk dikonsumsi. Allah S.W.T memerintahkan kepada kita agar memperhatikan atas segala sesuatu yang akan kita makan meskipun Allah telah memberikan segalanya kepada manusia.

Allah mengarahkannya untuk merenung dan berpikir pada makanannya, bagaimanakah makanan itu sampai padanya setelah melalui berbagai fase dan

dimudahkan oleh Allah untuknya seraya berfirman, “Maka hendaklah manusia itu memperhatikan makanannya (Syaiikh Muhammad bin Shalih asy-Syawi, 1995).

Menurut penjelasan tersebut apapun yang diciptakan-Nya di dunia ini hendaknya manusia memperhatikan makanannya, sehingga apabila batas tersebut dilewati maka akan menyebabkan kekacauan.

Firman Allah Q.S. Al-Ma'idah Ayat 87 yang berbunyi:

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا لَا تُحَرِّمُوا طَيِّبَاتِ مَا أَحَلَّ اللَّهُ لَكُمْ وَلَا تَعْتَدُوا ۚ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ الْمُعْتَدِينَ

Artinya: “*Hai orang-orang yang beriman, janganlah kamu haramkan apa-apa yang baik yang telah Allah halalkan bagi kamu, dan janganlah kamu melampaui batas. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang melampaui batas*”.

Menurut Ali (2009), ayat tersebut dapat ditafsirkan bahwa segala ciptaan Allah berjalan menurut ketentuan dan ukuran. Apapun yang diciptakan-Nya di dunia ini telah memiliki tujuan dan batas masing-masing, sehingga apabila batas tersebut dilewati maka akan menyebabkan kekacauan. Dari ayat tersebut, dapat dikorelasikan bahwa ketetapan batas akumulasi logam kadmium dalam kerang hijau yang dapat dikonsumsi oleh manusia tidak seharusnya diabaikan. Karena jika kerang hijau yang memiliki kadar logam kadmium melebihi ambang batas dikonsumsi maka akan menyebabkan dampak negatif bagi kesehatan manusia itu sendiri.

Hasil penelitian ini diharapkan agar masyarakat mengetahui logam yang terkandung dalam kerang hijau ini telah melampaui batas sebagaimana yang telah disebutkan di atas, dan memberikan manfaat untuk penelitian selanjutnya. Hal ini seperti yang disebutkan dalam Firman Allah Q.S. An-Nahl Ayat 97:

مَنْ عَمِلَ صَالِحًا مِنْ ذَكَرٍ أَوْ أَنْثَىٰ وَهُوَ مُؤْمِنٌ فَلَنُحْيِيَنَّهٗ حَيَاةً طَيِّبَةً وَلَنَجْزِيَنَّهُمْ أَجْرَهُمْ بِأَحْسَنِ مَا كَانُوا يَعْمَلُونَ

Artinya: “Barangsiapa mengerjakan kebaikan, baik laki-laki maupun perempuan, dalam keadaan iman, maka pasti akan Kami berikan kepadanya kehidupan yang baik dan Kami beri balasan dengan pahala yang lebih baik dari apa yang telah mereka kerjakan”

Dari surat an-Nahl Ayat 97 ini, sebagaimana terbaca dalam terjemah di atas, berbuat baik adalah kewajiban setiap manusia, apapun jenis kelaminnya. Jika amal baik yang mereka kerjakan itu juga disertai keimanan, maka mereka layak mendapat “*hayatan thayyibah*”. Secara bahasa, *hayatan thayyibah* dapat diartikan “kehidupan yang baik”. Penafsiran al-Mawardi menyebutkan dalam tafsirnya, *al-Nukat wa al-‘Uyun*, bahwa kehidupan yang baik memiliki sejumlah penafsiran, yaitu; rizki yang halal, qana’ah, beriman dan taat, keberuntungan, surga, kesehatan dan kecukupan, serta keridla-an terhadap qadla

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi komposisi zat pendestruksi terbaik menggunakan *microwave digestion* untuk analisis logam kadmium (Cd) pada kerang hijau adalah larutan $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ dengan perbandingan 1:1, variasi suhu destruksi terbaik adalah suhu 200°C , sedangkan variasi waktu destruksi tidak berpengaruh terhadap kadar kadmium dalam sampel berdasarkan hasil uji statistik *one way anova*.
2. Kadar logam kadmium (Cd) dalam kerang hijau pada ukuran kecil (<4 cm), sedang (4 cm), dan besar (>4 cm) berturut-turut adalah sebesar 1,622; 2,580; dan 1,614 mg/kg.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya agar dapat mengembangkan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian menggunakan variasi konsentrasi larutan pendestruksi untuk melihat pengaruh kadar logam yang diperoleh.
2. Perlu adanya variasi suhu dan waktu destruksi lanjutan untuk mengetahui kemampuan optimum dari variasi tersebut dalam proses destruksi menggunakan *microwave*.

3. Sebaiknya dilakukan analisis kadar logam lain, seperti logam merkuri (Hg) dalam kerang.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriyani, R. dan Mahmudiono, T. 2009. Kadar Logam Berat Cadmium, Protein dan Organoleptik pada Daging Bivalvia dan Perendaman Larutan Asam Cuka. *Jurnal Penelitian Medika Eksakta*. 8(2): 152-161.
- Afiati, N. 2005. Bioaccumulation of Trace Metals in the Blood Clam *Anadara granosa* (Arcidae) and Their Implications for Indicator Studies. *Second International Seminar on Environmental Chemistry and Toxicology*. 1-10.
- Akbar, J., Bahtiar, Ishak E., 2014. Studi Morfometrik Kerang Kalandue (*Polymesoda erosa*) di Hutan Mangrove Teluk Kendari. *Jurnal Mina Laut Indonesia*. 4(1): 1-12. ISSN: 2303-3959.
- Ali, A. Y. 2009. *Tafsir Yusuf Ali: Tafsir Qur'an 30 Juz*. Bogor: Pustaka Litera AntarNusa.
- Al-Ashfahani, A. 2017. *Kamus Al-Qur'an Jilid 3*. Jawa Barat: Pustaka Khazanah Fawa'id.
- Amaral, J. H., Rezende, V. B., Quintana, S. M., Gerlach, R. F., Barbosa, F., Tanus-Santos, J. E. 2010. The Relationship Between Blood and Serum Lead Levels in Peripartum Women and Their Respective Umbilical Cords. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*. 107(6): 971-975. DOI:10.1111/j.1742-7843.2010.00616.x.
- Amriani, B. H. dan Hadiyanto. A. 2011. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Seng (Zn) Pada Kerang Darah (*Anadara granosa* L.) dan Kerang Bakau (*Polymesoda bengalensis* L.) Di Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro*. 9(2): 45-50. DOI:10.14710/jil.9.2.45-50.
- Anderson, R. 1991. *Sample Pretreatment and Separation: Analytical Chemistry by Open Learning*. Singapore: John Wiley & Sons.
- Andrew, Siregar, Y. I., Efriyeldi. 2014. Kandungan Logam Berat Pb, Cu, Zn pada Daging dan Cangkang Kerang Hijau (*Perna Viridis*) Di Perairan Tanjung Balai Asahan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau, Pekanbaru.
- Araujo, R. G. O., Macedo, S. M., Korn, M. das G. A., Pimentel, M. F., Bruns, R. E., Ferreira, S. L. C. 2008. Mineral Composition of Wheat Flour Consumed in Brazil Cities. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 19(5). 935-942. DOI:http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532008000500019.

- Ardillah, Y. 2016. Faktor Risiko Kandungan Timbal di dalam Darah. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*. 7(3): 150-155. DOI:<https://doi.org/10.26553/jikm.2016.7.3.150-155>.
- Ardyanto, D. 2005. Deteksi Pencemaran Timah Hitam (Pb) dalam Darah Masyarakat yang Terpajan Timbal (Pb). *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. (2) 1: 68.
- Arif, S. 2015. Manusia dan Agama. *Islamuna*. 2 (2): 149-166.
- Ar-Rifa'i, A. K. 2008. *Tafsir Wajiz*. Jakarta: Gema Insani.
- Asrori, Z., Nuriyah, L., Santjojo, D. H., Masruroh. 2013. Pengaruh Waktu Redoks terhadap Tingkat Kemurnian Karbon Berbahan Dasar Tempurung Kelapa Hasil Karbonisasi *Simple Heating*. *Natural B*. 2 (2): 140-144.
- Aunurohim, Radenac, G., Fichet, D. 2006. Konsentrasi Logam Berat pada Makrofauna Benthik di Kepulauan Kangean Madura. *Journal of Biological Research*. 12 (1): 79-85. DOI:<https://doi.org/10.23869/bphjbr.12.1.200614>.
- Badan Standarisasi Nasional No. 7378. 2009. *Batas Maksimum Cemaran Logam Berat Dalam Pangan*. Jakarta : BSN.
- Barnes, L. G., Domning, D. P., Ray, C. E. 1985. Status of Studies On Fossil Marine Mammals. *Marine Mammal Science*. 1: 15-53.
- Basyir, H., Karimi, I., Sikhu A., Habiburrahim. 2011. *Tafsir Al-Muyassar*. Solo: An-Naba'.
- Berghof. 2005. Theory of Sample Preparation Using Acid Digestion, Pressure Digestion and Microwave Digestion (Microwave Decomposition). *Labor-Technik*.
- Bettleheim F. A., Brown W. H., Campbell M. K., Farrell S. O. 2010. *Introduction to General, Organic, and Biochemistry*. 9th Ed. Belmont (US): Brooks/Cole Cengage Learning.
- Bin Jarir Ath-Thabari, A. J. M. 2008. *Tafsir Ath-Thabari*. Jakarta: Pustaka Azzam.
- Bizzi, C. A., Nobrega, J. A., Barin J. S. 2014. Diluted Acids in Microwave-Assisted Wet Digestion. dalam *Microwave-Assisted Sample Preparation for Trace Element Determination*. USA: Elsevier. 179-204. DOI: 10.1016/B978-0-444-59420-4.00006-4.
- Brass, G. M. dan Strauss, W. 1981. *Air Pollution Control*. New York: John Wiley & Sons.

- Broom, M. J. 1985. *The Biology and Culture of Marine Bivalve Molluscs of the Genus Anadara*. Manila, Philippines: ICLARM (International Center for Living Aquatic Resources Management).
- Daluningrum, I. P. W. 2009. Penapisan Awal Komponen Bioaktif dari Kerang Darah (*Anadara granosa*) Sebagai Senyawa Antibakteri. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB, Bogor.
- Darmono. 1995. *Logam dalam sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: UI-Press.
- Demirel, S., Tuzen, M., Saracoglu, S., Soylak, M. 2008. Evaluation of Various Digestion Procedures for Trace Element Contents of Some Food Materials. *Journal of Hazardous Materials*. 152. 1020–1026. DOI:10.1016/j.jhazmat.2007.07.077.
- Depkes, 2001. *Kerangka Acuan Uji Petik Kadar Timbal (Pb) pada Spesimen Darah Kelompok Masyarakat Berisiko Tinggi Pencemaran Timbal*. Jakarta: Departemen Kesehatan RI.
- Desimoni, E. dan Brunetti, B. 2015. About Estimating the Limit of Detection by Signal to Noise Approach. *Pharmaceutica Analytica Acta*. 6(4). DOI: 10.4172/2153-2435.1000355.
- Dewi, D. C., Fauziyah, B., Suryadinata, A., Annisa, D., Afifah, N. 2013 Optimasi Metode Penentuan Kadar Logam Tembaga dan Timbal dalam Gula Pasir Secara Spektrofotometri Serapan Atom dengan Destruksi *Microwave Digestion*. *ALCHEMY*. 2(2): 118-125. DOI:<http://dx.doi.org/10.18860/al.v0i0.2884>.
- Dimpe, K. M., Ngila, J. C., Mabuba, N., Nomngongo, P. N. 2015. Evaluation of Sample Preparation Method For the Detection of Total Metal Content Using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) in Wastewater and Sludge. *Physics and Chemist of the Earth*. Department of Applied Chemistry. University of Johannesburg. DOI:10.1016/j.pce.2014.11.006.
- Emawati, E., Aprianto, R., Musfiroh, I. 2015. Analisis Timbal dalam Kerang Hijau, Kerang Bulu, dan Sedimen di Teluk Jakarta. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. 2(3): 105-111. DOI:<https://doi.org/10.15416/ijpst.v2i3.7907>.
- Enanmorado-Baez, S. M., Abril, J. M., Gomez-Guzman, J. M. 2013. Determination of 25 Trace Element Concentrations in Biological Reference Materials by ICP-MS Following Different Microwave-Assisted Acid Digestion Methods Based on Scaling Masses of Digested Samples. *ISRN Analytical Chemistry*. DOI:<http://dx.doi.org/10.1155/2013/851713>.

- Erlangga. 2007. Efek Pencemaran Perairan Sungai Kampar Di Provinsi Riau Terhadap Ikan Baung (*Hemibagrus nemurus*). Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ermer, J., dan Miller, J. H. McB. 2005. *Method Validation in Pharmaceutical Analysis*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Ershadi, S., dan Shayanfar, A. 2018. Are LOD and LOQ Reliable Parameters for Sensitivity Evaluation of Spectroscopic Methods?. *Journal of AOAC International*. 101(4). DOI: <https://doi.org/10.5740/jaoacint.17-0363>.
- Esen, Cem dan Balci, Ahmet. 2008. Application of Microwave-Assisted Digestion to Trace Heavy Metal Determination in Sea Sediment Sample. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*. 36(2): 123-128.
- Eshmat, M. E., Mahasri, G., Rahardja, B. S. 2014. Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) di Perairan Ngemboh Kabupaten Gresik Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 6(1): 101-108.
- Fardiaz. S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius.
- Francesconi, K. A. 2007. Toxic Metal Species and Food Regulations Making a Healthy Choice. *The Analyst*. 132: 17-20. DOI: 10.1039/b610544k.
- Geana, E. I., Iordache, A. M., Voica, C., Culea, M., Ionete, R. E. 2011. Comparison of Three Digestion Methods for Heavy Metals Determination in Soils and Sediments Materials by ICP-MS Technique. *Asian Journal of Chemistry*. 23(12): 5213-5216.
- Gholami, M., Bekhami S., Zain S. M., Bakirdere, S. 2016. A Simple Design for Microwave Assisted Digestion Vessel with Low Reagent Consumption Suitable for Food and Environmental Samples. *Scientific Reports*. 1-8. DOI:10.1038/srep37186.
- Giles, N. M., Watts, A. B., Giles, G. I., Fry, F. H., Littlechild, J. A., Jacob, C. 2003. Metal and Redox Modulation of Cysteine Protein Function. *Elsevier Science*. 10: 677-693. DOI: 10.1016/S1074-5521(03)00174-1.
- Hadi, A. 2010. Penentuan Batas Deteksi Metode (*Method Detection Level*) dan Batas Kuantisasi (*Limit Of Quantitation*) Pengujian Sulfida dalam Air dan Air Limbah dengan Biru Metilen Secara Spektrofotometer. *Ecolab*. 4(2): 70-80.
- Hamilton, M. A., Rode P. W., Merchant M. E., Sneddon J. 2007. Determination and Comparison of Heavy Metals in Selected Seafood, Water, Vegetation

and Sediments by Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry From an Industrialized and Pristine Waterway in Southwest Louisiana. *Microchemical Journal*. 88: 52-55.
DOI:<https://doi.org/10.1016/j.microc.2007.09.004>.

Harmita, 2004. Petunjuk Pelaksanaan Validasi Metode dan Cara Perhitungannya. *Majalah Ilmu Kefarmasian*. 1(3): 117-135. ISSN: 1693-9883.

Harvey, D. 1956. *Modern Analytical Chemistry*. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Haryono M. G., Mulyanto, Kilawati, Y. 2017. Kandungan Logam Berat Pb Air Laut, Sedimen, dan Daging Kerang Hijau *Perna viridis*. *Jurnal Ilmu dan Kelautan Tropis*. 9(7): 1-7.

Hassan, K. J., Zubairu, M. S., Uwaisu, U. B. 2015. The Concentrations of Heavy Metals in Fish Samples From Dukku River in Kebbi State of Nigeria. *International Journal of Environment and Bioenergy*. 10(2): 122-130.

Hasyimi, R., Agustono, Paramita, W. 2018. Kandungan Kolesterol Pada Kerang Darah (*Anadara granosa*) dari Hasil Tangkap di Kenjeran Surabaya, Sedati Sidoarjo, dan Bancaran Bangkalan. *Journal of Marine and Coastal Science*. 7(1): 12-20.

Hidayat, Y. S. 2016. Penentuan Kadar Logam Timbal (Pb) dalam Coklat Batang Menggunakan Variasi Metode Destruksi dan Zat Pengoksidasi Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Malang.

Hutagalung, H. P. 1991. Pencemaran Laut Oleh Logam Berat dalam Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya. *P30-LIPI*. 45-59.

Jarapala, S. R., Vasudeva, R. Y., Devindra, S., Longvah, T. 2014. Analysis Of Heavy Metal Concentrations In Indian Marine Fish Using ICP-MS After Closed Vessel Micro Wave Digestion Method. *International Journal of Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 4(3): 67-73.

Kartikasari, M. 2015. Analisis Logam Timbal (Pb) pada Buah Apel (*Pylus Malus L*) dengan Metode Destruksi Basah Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Skripsi*. Malang: Jurusan Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim.

Khopkar, S. M. 2010. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press.

Kingston, H. M. dan Haswell, S. J. 1997. *Microwave-Enhanced Chemistry: Fundamentals, Sample Preparation and Applications*. Washington, USA: American Chemical Society.

- Laksono, A., Kartika, R., Hindryawati N., 2017. Analisis Kadar Logam Pb (Timbal) dan Kandungan Protein pada Teritip (*Balanus. sp*) di Pesisir Pulau Bunyu Kalimantan Utara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. 213-221. ISBN: 978-602-50942-0-0.
- Lasut, M. T., 2002. 'Metallothionein': Suatu Parameter Kunci yang Penting dalam Penetapan Baku Mutu Air Laut (BMAL) Indonesia. *Ekoton*. 2(1): 61-68. ISSN: 1412-3487.
- Latifah, A. 2011. *Karakteristik Morfologi Kerang Darah*. Bogor: Departemen Teknologi Hasil Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor.
- Lazarus, V. M., Sekovanic, A., Kljakovic-Gaspic, Z., Orct, T., Jurasovic, J., Kusak, J., Reljic, S., Huber, D. 2013. Cadmium and Lead in Grey Wolf Liver Samples: Optimisation of a Microwave-Assisted Digestion Method. *Scientific Paper*. 395-403. DOI:10.2478/10004-1254-64-2013-2323.
- Low, K. H., Zain M. S., Abas M. R., 2012. Evaluation of Microwave-Assisted Digestion Condition for the Determination in Fish Samples by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry Using Experimental Designs. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 92(10): 1161-1175. DOI:<https://doi.org/10.1080/03067319.2010.548093>.
- Lukitasari, A. 2009. Pembentukan Senyawa Oksigen Reaktif. *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*. 9(1): 31-39.
- Marganof, 2003. *Potensi Limbah Udang Sebagai Penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium, Tembaga) di Perairan*. Unpublished. Pengantar ke Falsafah Sains Program Pascasarjana S3 IPB, Bogor.
- Matusiewicz, H. 2003. Wet Digestion Methods. *Comprehensive Analytical Methods, Soils, and Oils*. USA: Environmental Protection Agency.
- Melinda, M., Sari, S. P., Rosalina, D. 2015. Kebiasaan Makan Kerang Kepah (*Polymesoda erosa*) di Kawasan Muara Pantai Pasir Padi. *OSEATEK*. 9(1): 35-44. ISSN 1858-4519.
- Mello, P. A., Barin, J. S., Guarnieri, R. A. 2014. *Microwave Heating*. dalam *Microwave-Assisted Sample Preparation for Trace Element Determination*. USA: Elsevier. 59-75. DOI: 10.1016/B978-0-444-59420-4.00002-7.
- Miettinen, J. K. 1977. *Inorganic Trace Element as Water Pollutan to Healt and Aquatic Biota*. Dalam F. Coulation an E. Mrak, Ed. *Water Quality Procced of an Int. Forum*. New york: Academic Press.

- Muinde, V. M., Nguu, E. K., Ogoyi, D. O., Shiundu, P. M. 2013. Effect of Heavy Metal Pollution on Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acid Levels in Tilapia Fish from Winam Gulf of Lake Victoria. *The Open Environmental Engineering Journal*. 6: 22-31. DOI:[10.2174/1874829501306010022](https://doi.org/10.2174/1874829501306010022).
- Mulja, J. C. dan Miller J. N. 1991. *Statistika Untuk Kimia Analisis Edisi Kedua*. Terjemahan Suroso. Bandung: ITB.
- Niswari, A. P. 2004. Studi Morfometrik Kerang Hijau (*Perna viridis L.*) di Perairan Cilincing, Jakarta Utara. *Skripsi*. Program Studi Ilmu Kelautan, FPIK, IPB, Bogor.
- Noor, A. 1989. *Spektroskopi Analitik*. Ujung Pandang: Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia. FMIPA. UNHAS.
- Nurjanah, Zulhamasyah, Kustiyariyah. 2005. Kandungan Mineral dan Proksimat Kerang Darah (*Anadara granosa*) yang diambil dari Kabupaten Boalemo, Gorontalo. *Buletin Teknologi Hasil Perikanan*. 8(2): 1-4. DOI:<http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v8i2.1012>.
- Nurjannah, N. A. 2017. Analisis Cemaran Logam Berat Timbal (Pb) dalam Kerang Darah (*Anadara granosa*) dan Kerang Patah (*Meretrix lyrata*) di Muara Angke Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom. *Jurnal Riset Kesehatan*. 9(2): 9-18.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- _____. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- _____. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Cetakan Keempat. Jakarta: Rineka Cipta.
- Patnaik, P. 2004. *Dean's Analytical Chemistry Handbook*. Second Edition. New York: McGraw-Hill Comp.
- Prasetya, J. D., Widowati, I., Suprijanto, J. 2006. Tingkat bioakumulasi logam berat Pb (timbal) pada jaringan lunak Polymesoda erosa (*Moluska bivalve*). *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan*.
- Perdana, N. D., Wardhani, S., Khunur, M. M. 2014. Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida (H₂O₂) terhadap Degradasi Methylene Blue dengan Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Kimia Student Journal*. 2 (2): 576-582.
- Qurthubi, S. I. 2009. *Tafsir al-Qurthubi*. Jakarta: Pustaka Azzam.

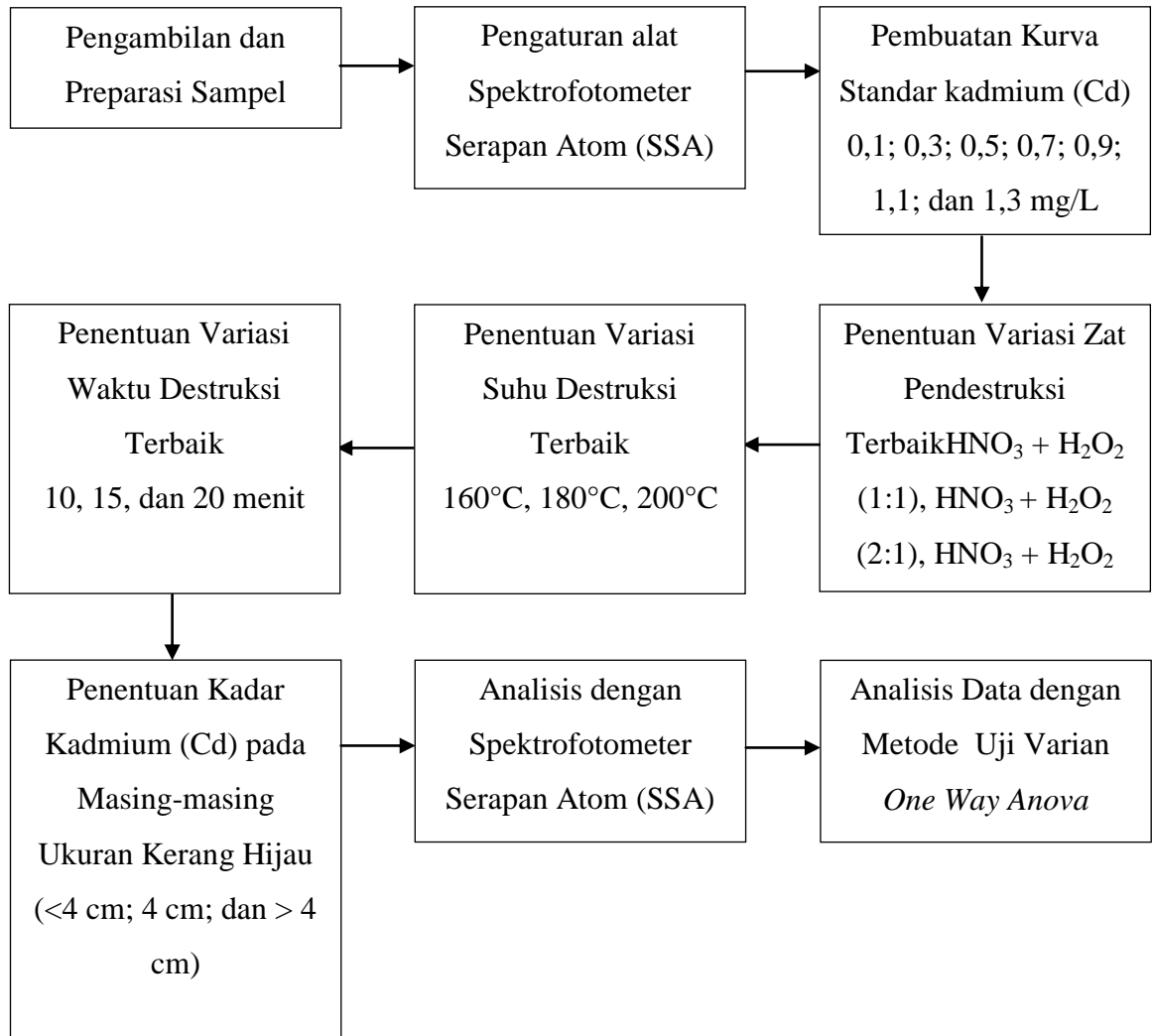
- Quthb, S. 2003. *Tafsir Fi Zhilalil Qur'an di Bawah Naungan Al-Qur'an Jilid VII*. Jakarta: Gema Insani Press.
- Rahmawati, Hamzah, B., Nuryanti, S. 2015. Analisis Kadar Timbal (Pb) Dalam Daging Kerang Bakau (*Polymesoda Erosa*) Dan Kerang Darah (*Anadara Granosa*) Di Perairan Salule Pasangkayu Sulawesi Barat. *Jurnal Akademi Kimia*. 4(2): 78-83. ISSN 2302-6030.
- Rifqi I. A., Dewi, D. C., Naschihuddin, A. 2015. Penentuan Kadar Merkuri (Hg) dalam Krim Pemutih Menggunakan Destruksi Basah Tertutup Secara Spektrofotometri Serapan Atom Uap Dingin (SSA-UD). *Journal Of Chemistry*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Ristanti, Suratman, A. D., Widiyanto, A. F. W. 2013. Analisis Kandungan Logam Timbal (pb) dan Laju Konsumsi Aman Kerang Kepah (*Polymesoda erosa*) di Sungai Donan Cilacap. *Jurnal Kesmas Indonesia*. 6(2): 85-93.
- Riyanto, 2014. *Validasi & Verifikasi Metode Uji: Sesuai dengan ISO/IEC 17025 Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi*. Yogyakarta: Deepublish.
- Rochyatun, E., Kaisupy, M. T., Rozak, A. 2006. Distribusi Logam Berat dalam Air dan Sedimen Di Perairan Muara Sungai Cisadane. *Makara, Sains*. 10 (1): 35-40. doi:<https://doi.org/10.7454/mss.v10i1.151>.
- Rodiana, Y., Maulana, H., Masitoh, S., Nurhasni. 2013. Pengkajian Metode Untuk Analisis Total Logam Berat dalam Sedimen Menggunakan *Microwave Digestion*. *Ecolab*. 7(2): 49-108. DOI:<https://doi.org/10.20886/jklh.2013.7.2.71-80>.
- Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Rudiyanti, S. 2009. Biokonsentrasi Kerang Darah (*Anadara granosa* Linn) Terhadap Logam Berat Cadmium (Cd) Yang Terkandung Dalam Media Pemeliharaan Yang Berasal Dari Perairan Kaliwungu, Kendal. *Seminar Nasional Semarang Perikanan Expo*. 184-195.
- Sada, H. J. 2016. Manusia dalam Perspektif Agama Islam. *Al-Tadzkiyyah: Jurnal Pendidikan Islam*. 7: 129-142.
- Sasnika, Karina, S., Nurfadillah. 2017. Analisis Logam Pb pada Kerang *Anadara granosa* dan Air Laut di Kawasan Pelabuhan Nelayan Gampong Deah Glumpang Kota Banda Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*. 2(1): 74-79. ISSN 2527-6395.
- Sastrohamidjojo, H. 2001. *Spektroskopi*. Yogyakarta: Liberty.

- Settle, F. A. 1997. *Handbook of Instrumental Techniques For Analytical Chemistry*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Shihab, M. Q. 2002. *Tafsir Al-Mishbah*. Jakarta: Lentera Hati.
- _____. 2003. *Tafsir Al-Mishbah*. Jakarta: Lentera Hati.
- Sineo, 2010. *Application Manual of Microwave Digestion*. China. Sineo Microwave Chemistry Technology.
- Spada, L., Annicchiarico, C., Cardellicchio, N., Giandomenico, S., Di Leo, A. 2013. Heavy Metals Monitoring in the Mussels *Mytilus galloprovincialis* From the Apulian Coast (Southern Italy). *Mediterranean Marine Science*. 14(1): 99-108. DOI:<http://dx.doi.org/10.12681/mms.323>.
- Stone, D. dan J. Ellis. 2008. Callibration and Linear Regression Analysis: A Self-Guided Tutorial. *CHM314 Instrumental Analysis*. 1-8.
- Sumar, H., Kadarohman, A., Sumarna, A. A., Supriatna, A. 1994. *Kimia Analitik Instrumen Edisi ke Satu*. Semarang: IKIP.
- Sunarya, Y. 2007. *Kimia Umum*. Bandung: Grafindo.
- Suseno, H. 2006. Bioakumulasi Kadmium Melalui Jalur Air Laut pada Kerang Hijau (*Perna viridis*): Studi Pengambilan dan Depurasi Kadmium Menggunakan Perunut . *Prosiding PPI*. 167-174.
- Suwignyo, S., Widigdo, B., Wardiatno, Y., Krisanti, M. 2005. *Avertebrata Air untuk Mahasiswa Perikanan. Jilid 2*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Syahputra, R. 2004. *Modul Pelatihan Instrumentasi AAS*. Yogyakarta: Laboratorium Instrumentasi Terpadu UII.
- Szitanyi, Z., Nemes, C., Rozlosnik, N. 1996. Metallothionein and Heavy Metal Concentration in Blood. *Microchemical Journal*. 54: 246-251.
- Tanase, A., Vamanu, A., Niculae, C., Patroescu, C. 2004. Optimized Microwave Digestion Method for Iron and Zinc Determination by Flame Absorption Spectrometry in Fodder Yeasts Obtain From Paraffin, Methanol and Ethanol. *Chimie, Anul XIII*. 1-11: 117-124.
- Tangio, J. S. 2013. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan menggunakan Biomassa Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Entropi*. 3(1): 500-506.
- Taylor, M. 2005. *Developments in Microwave Chemistry*. Evalueserve. All Right Reserved.

- Loon, Van, J. C. 1980. *Analytical Atomic Absorption Spectroscopy of Geology and Chemistry*. Canada: Universitas Toronto.
- Varian. 2010. *Prinsip Kerja AAS-AA240, Pengoperasian dan Cara Perawatannya*. Malang: Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Vogel. 1985. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Edisi Kelima Jilid I*. Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka.
- Watsiqotul, Sunardi, dan Agung, L. 2018. Peran Manusia Sebagai Khalifah Allah di Muka Bumi Perspektif Ekologis dalam Ajaran Islam. *Jurnal Penelitian*. 12 (2): 355-378.
- Weisz, P. B. 1973. *The Science of Zoology. Second Edition*. United State of America: McGraw-Hill Inc.
- Widasari, F. N., Wulandari, S. Y., Supriyanti, E., 2013. Pengaruh Pemberian *Tetraselmis chuui* dan *Skeletonema costatum* Terhadap Kandungan EPA dan DHA pada Tingkat Kemataangan Gonad Kerang Totok (*Polymesoda erosa*). *Journal of Marine Research*. 2(1): 15-24.
- Widowati, W., Sastiono, A., Rumampuk, R. J. 2008. *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Winefordner, J. D., dan Long, G. L. 1983. Limit of Detection. *Analytical Chemistry*. 55(7): 712-724.
- Wulandari, E. A., dan Sukei. 2013. Preparasi Penentuan Kadar Logam Pb, Cd, dan Cu dalam Nugget Ayam Rumpit Laut Merah (*Eucheuma cottonii*). *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. 2(2): 15-17.
- Yaqin, K., Nursyamsiah, Umar, M. T., Fachruddin, L., Bachtiar, B. 2014. Apakah Variasi Ukuran Panjang Cangkang Memengaruhi Konsentrasi Logam Timbal di dalam Daging Kerang Hijau *Perna viridis*?. *Simposium Nasional I Kelautan dan Perikanan*. MSP-10: 1-13.

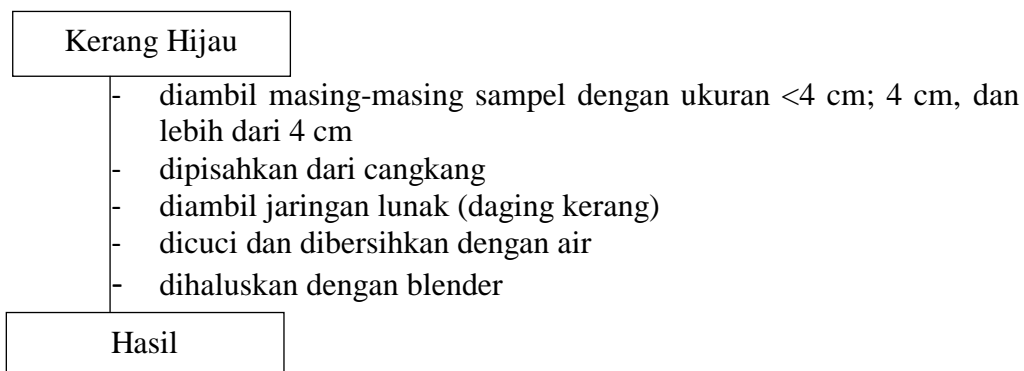
LAMPIRAN

Lampiran 1 : Rancangan Penelitian

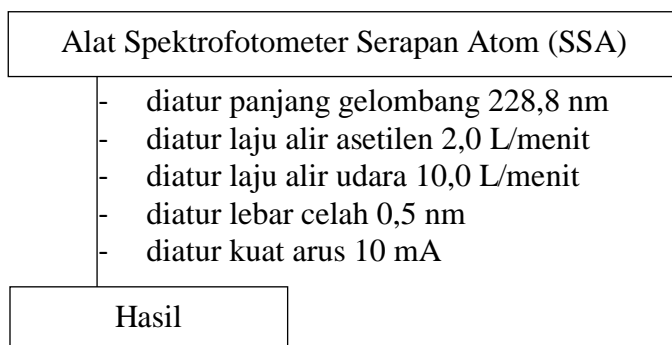


Lampiran 2 : Diagram Alir

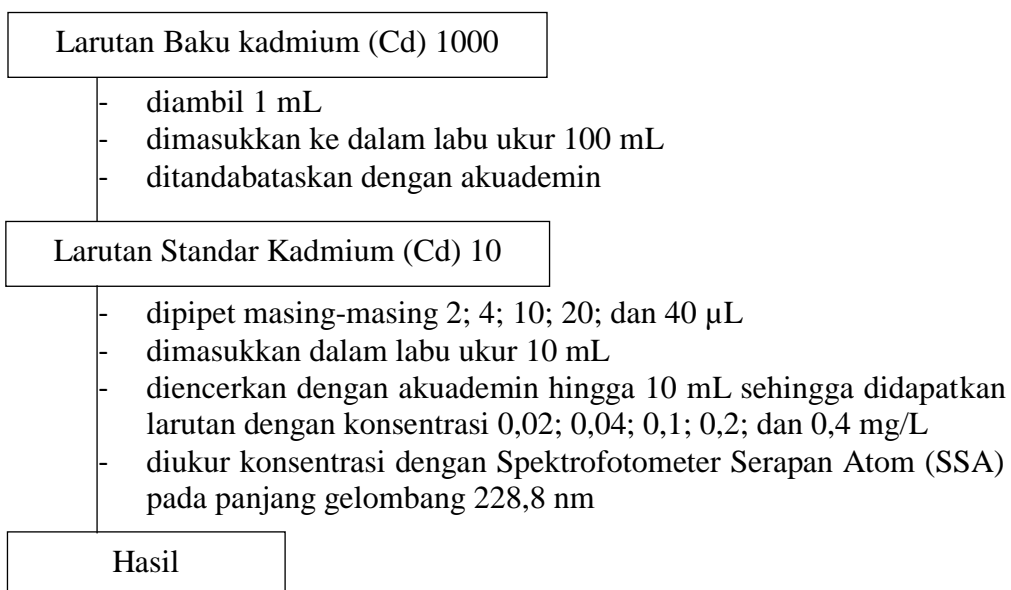
1. Pengambilan dan Preparasi Sampel



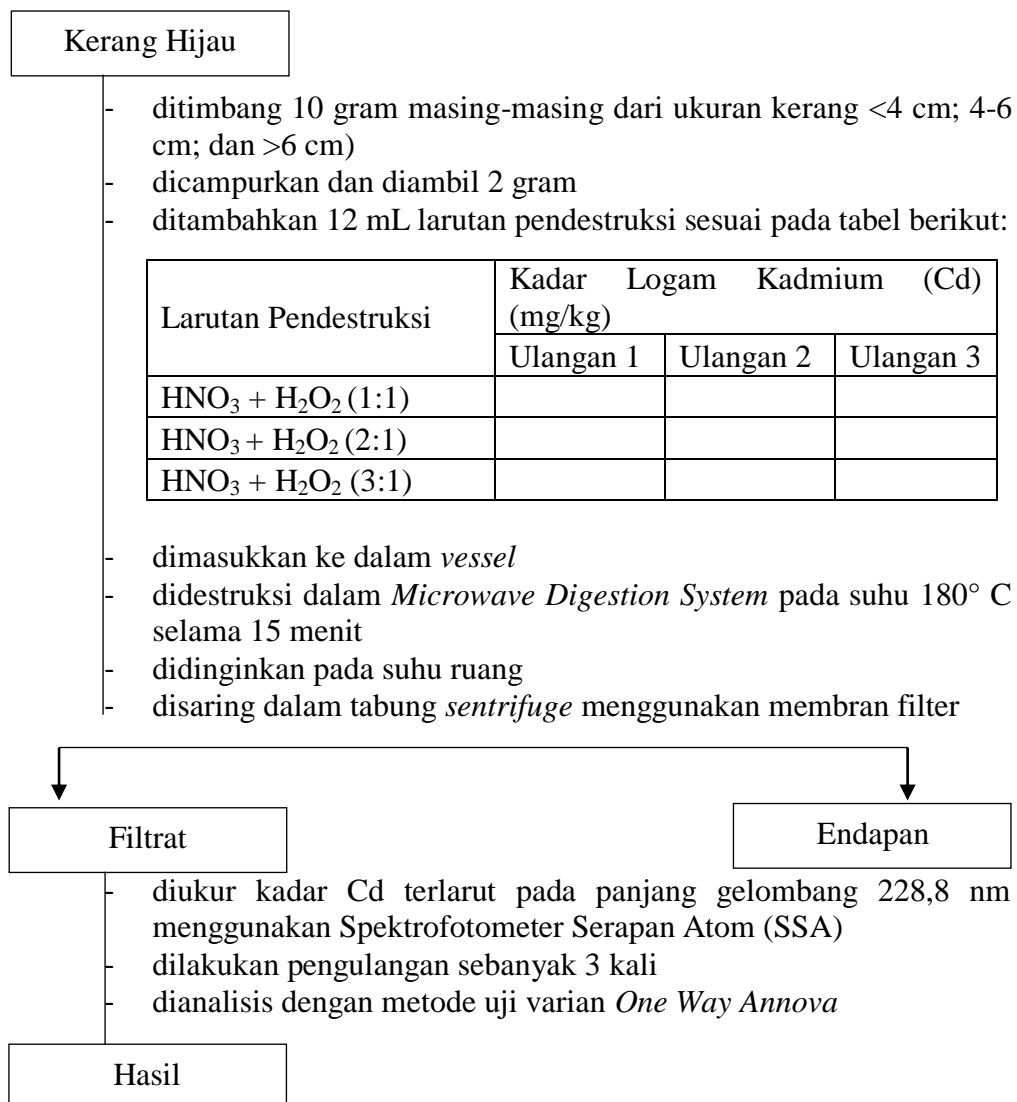
2. Pengaturan Alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)



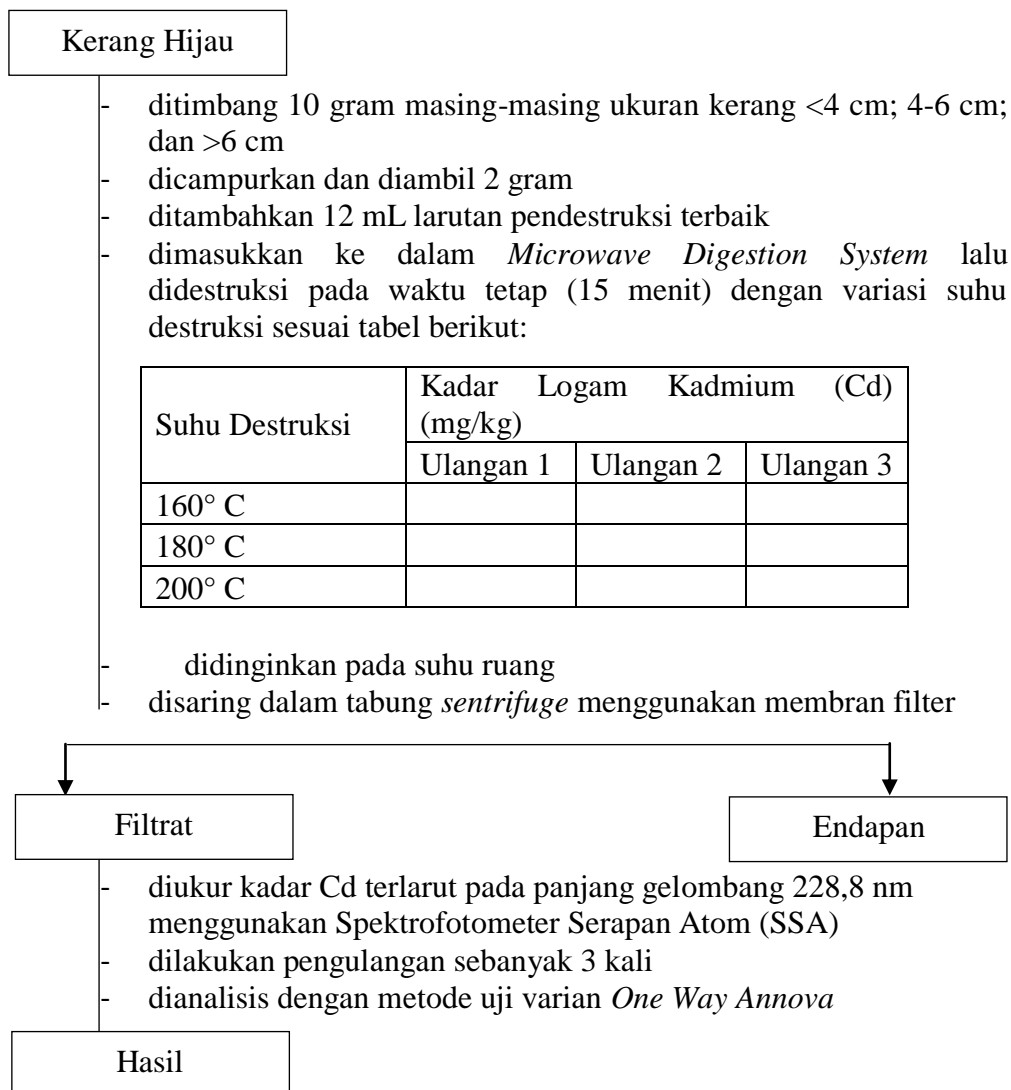
3. Pembuatan Kurva Standar Kadmium (Cd)



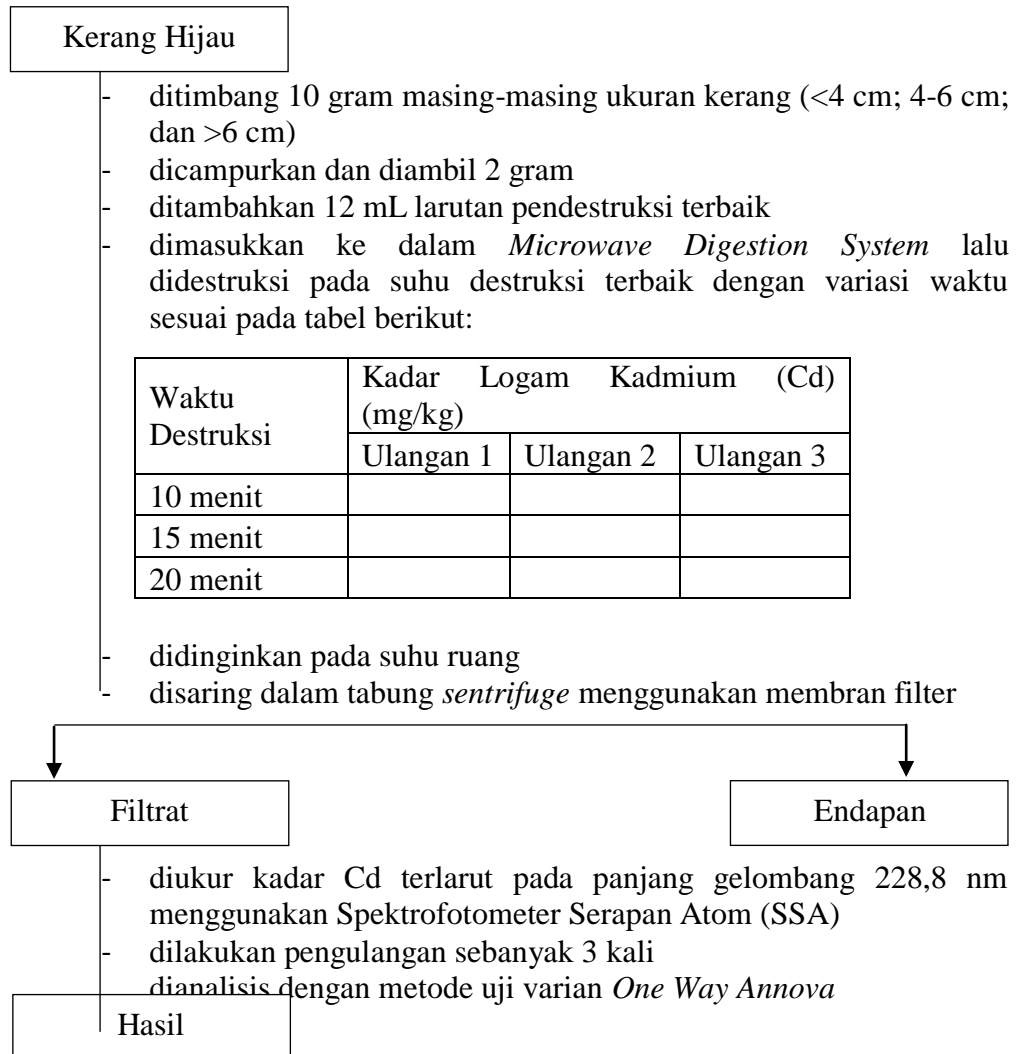
4. Penentuan Jenis Larutan Pendestruksi Terbaik pada Kadmium (Cd) dalam Sampel Kerang Hijau (*Perna viridis*)



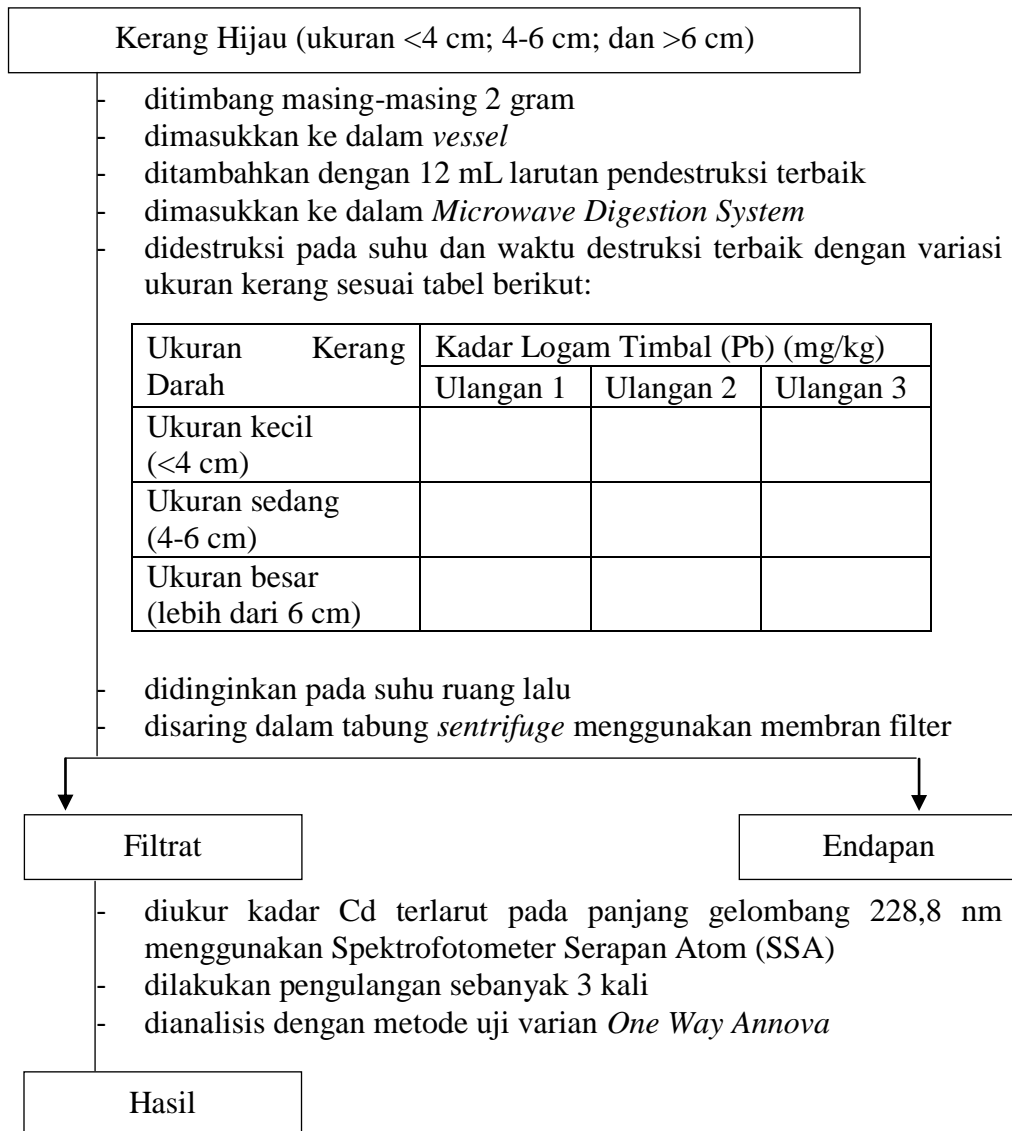
5. Penentuan Suhu Destruksi Terbaik pada Kadmium (Cd) dalam sampel Kerang Hijau(*Perna viridis*)



6. Penentuan Waktu Destruksi Terbaik pada Kadmium (Cd) dalam sampel Kerang Hijau(*Perna viridis*)



7. Penentuan Kadar Kadmium (Cd) pada Masing-masing Ukuran Sampel Kerang Hijau(*Perna viridis*)



Lampiran 3 : Perhitungan

1. Pembuatan Kurva Standar Kadmium (Cd)

Pembuatan Larutan Stok 1000 mg/L Cd^{2+} dalam persenyawaan $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$

$\text{Mr Pb}(\text{NO}_3)_2 = 236 \text{ g/mol}$

$\text{Ar Pb} = 112 \text{ g/mol}$

$$\text{Berat} = \frac{\text{Mr Cd}(\text{NO}_3)_2 \times 1000 \text{ mg}}{\text{Ar Cd}}$$

$$= \frac{236 \text{ g/mol} \times 1000 \text{ mg}}{112 \text{ g/mol}}$$

$$= 2107 \text{ mg}$$

$$= 2,107 \text{ g}$$

a. Pembuatan larutan standar 1000 mg/L menjadi 10 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ mg/L} \times V_1 = 10 \text{ mg/L} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 10 \text{ mg/L}}{1000 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

Sehingga larutan standar 10 mg/L dibuat dengan cara dipipet 1 mL larutan standar 1000 mg/L ke dalam labu takar 100 mL, kemudian ditandabatkan dengan HNO_3 0,1 N sampai tanda batas

b. Pembuatan larutan standar 0,02 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,02 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ mL} \times 0,02 \text{ mg/L}}{10 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 0,02 \text{ mL}$$

Sehingga larutan standar 0,02 mg/L dibuat dengan cara dipipet 0,02 mL larutan standar 10 mg/L ke dalam labu takar 10 mL, kemudian ditandabatkan dengan HNO_3 0,1 N sampai tanda batas

c. Pembuatan larutan standar 0,04 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,04 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ mL} \times 0,04 \text{ mg/L}}{10 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 0,04 \text{ mL}$$

Sehingga larutan standar 0,04 mg/L dibuat dengan cara dipipet 0,04 mL larutan standar 10 mg/L ke dalam labu takar 10 mL, kemudian ditandabatkan dengan HNO₃ 0,1 N sampai tanda batas

d. Pembuatan larutan standar 0,1 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,1 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ mL} \times 0,1 \text{ mg/L}}{10 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 0,1 \text{ mL}$$

Sehingga larutan standar 0,1 mg/L dibuat dengan cara dipipet 0,1 mL larutan standar 10 mg/L ke dalam labu takar 10 mL, kemudian ditandabatkan dengan HNO₃ 0,1 N sampai tanda batas

e. Pembuatan larutan standar 0,2 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,2 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ mL} \times 0,2 \text{ mg/L}}{10 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = 0,2 \text{ mL}$$

Sehingga larutan standar 0,2 mg/L dibuat dengan cara dipipet 0,2 mL larutan standar 10 mg/L ke dalam labu takar 10 mL, kemudian ditandabatkan dengan HNO₃ 0,1 N sampai tanda batas

f. Pembuatan larutan standar 0,4 mg/L

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$10 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,4 \text{ mg/L} \times 10 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{10 \text{ mL} \times 0,4 \text{ mg/L}}{10 \text{ mg/L}}$$

$$10 \text{ mg/L}$$

$$V_1 = 0,4 \text{ mL}$$

Sehingga larutan standar 0,4 mg/L dibuat dengan cara dipipet 0,4 mL larutan standar 10 mg/L ke dalam labu takar 10 mL, kemudian ditandabatkan dengan HNO₃ 0,1 N sampai tanda batas

2. Pembuatan HNO₃ 0,1 N

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } \rho \text{ HNO}_3 \text{ 65\%} &= 1,39 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 1390 \text{ gr/L} \end{aligned}$$

$$\text{Mr HNO}_3 = 63 \text{ gr/mol}$$

$$\text{HNO}_3 = \frac{65 \text{ gr HNO}_3}{100 \text{ gr larutan}}$$

$$\frac{1390 \text{ gr}}{1 \text{ L}} = \frac{100 \text{ gr}}{V}$$

$$V = \frac{100 \text{ gr} \times 1 \text{ L}}{1390 \text{ gr}}$$

$$V = 0,0719 \text{ L}$$

$$n = \frac{65 \text{ gr}}{63 \text{ gr/mol}}$$

$$n \text{ HNO}_3 = 1,0318 \text{ mol}$$

$$M \text{ HNO}_3 = \frac{n}{v}$$

$$M \text{ HNO}_3 = \frac{1,0318 \text{ mol}}{0,0719 \text{ L}}$$

$$M \text{ HNO}_3 = 14,3505 \text{ M}$$

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

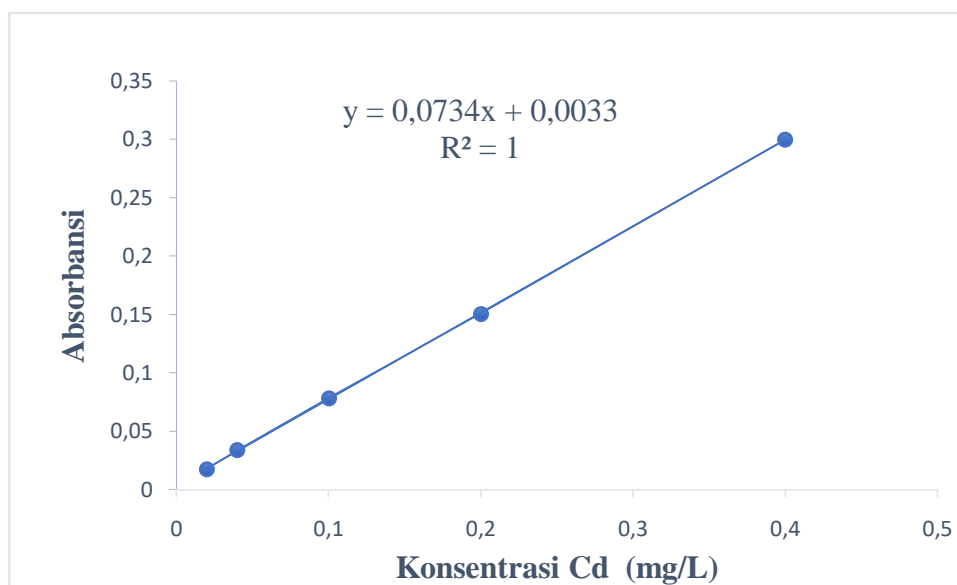
$$14,3505 \text{ M} \times V_1 = 0,1 \text{ M} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0,1 \text{ M} \times 1000 \text{ mL}}{14,3505 \text{ M}}$$

$$V_1 = 6,9684 \text{ mL}$$

Lampiran 4: Hasil Uji Kurva Standar

1. Hasil Uji Linearitas



a. Linearitas kurva standar sebesar 1

Lampiran 5 : Data Hasil Instrumen Larutan Sampel

1. Penentuan Kadar Kadmium pada Kerang Hijau dengan Variasi Larutan Pendestruksi

Tabel 1. Kadar Kadmium yang terbaca oleh instrumen

Larutan Pendestruksi	m (kg)	Absorbansi	V (L)	B (SSA) (mg/L)
HNO ₃ : H ₂ O ₂ (1:1)	0,002	0,0259	0,013	0,0302
	0,002	0,0241	0,013	0,0283
	0,002	0,0290	0,013	0,0350
HNO ₃ : H ₂ O ₂ (2:1)	0,002	0,0165	0,013	0,0180
	0,002	0,0158	0,013	0,0170
	0,002	0,0170	0,013	0,0186
HNO ₃ : H ₂ O ₂ (3:1)	0,002	0,0204	0,013	0,0232
	0,002	0,0202	0,013	0,0230
	0,002	0,0151	0,013	0,0160

Tabel 2. Kadar Kadmium yang sebenarnya

Larutan Pendestruksi	Ulangan 1 (mg/kg)	Ulangan 2 (mg/kg)	Ulangan 3 (mg/kg)	Rata-rata (mg/kg)
HNO ₃ : H ₂ O ₂ (1:1)	1,963	1,8395	2,275	2,0258
HNO ₃ : H ₂ O ₂ (2:1)	1,17	1,105	1,209	1,1613
HNO ₃ : H ₂ O ₂ (3:1)	1,508	1,495	1,04	1,347

1. HNO₃ + H₂O₂ (1:1)

a. Ulangan 1

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= \frac{0,0302 \text{ mg/L} \times 0,13 \text{ L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 1,963 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

b. Ulangan 2

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= \frac{0,0283 \text{ mg/L} \times 0,13 \text{ L}}{0,002 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

$$= 1,8395 \text{ mg/kg}$$

c. Ulangan 3

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,0350 \text{ mg/L} \times 0,13 \text{ L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 2,275 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

2. $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ (2:1)

a. Ulangan 1

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,0180 \text{ mg/L} \times 0,13 \text{ L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 1,17 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

b. Ulangan 2

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,0170 \text{ mg/L} \times 0,13 \text{ L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 1,105 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

c. Ulangan 3

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,0186 \text{ mg/L} \times 0,13 \text{ L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 1,209 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

3. $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ (3:1)

a. Ulangan 1

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,0232 \text{ mg/L} \times 0,13 \text{ L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 1,508 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

b. Ulangan 2

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,0230 \text{ mg/L} \times 0,13 \text{ L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 1,495 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

c. Ulangan 3

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= \frac{0,0160 \text{ mg/L} \times 0,13 \text{ L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 1,04 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

2. Penentuan Kadar Timbal pada Kerang Hijau dengan Variasi Suhu Destruksi

Tabel 1. Kadar Kadmium yang terbaca oleh instrumen

Suhu Destruksi	m (kg)	Absorbansi	V (L)	B (SSA) (mg/L)
160 °C	0,002	0,0267	0,013	0,0318
	0,002	0,0260	0,013	0,0313
	0,002	0,0295	0,013	0,0361
180 °C	0,002	0,0259	0,013	0,0311
	0,002	0,0280	0,013	0,0340
	0,002	0,0275	0,013	0,0333
200 °C	0,002	0,0319	0,013	0,0389
	0,002	0,0328	0,013	0,0401
	0,002	0,0327	0,013	0,0400

Tabel 2. Kadar Kadmium yang sebenarnya

Suhu Destruksi	Ulangan 1 (mg/kg)	Ulangan 2 (mg/kg)	Ulangan 3 (mg/kg)	Rata-rata (mg/kg)
160 °C	2,067	2,0345	2,3465	2,149
180 °C	2,0215	2,21	2,1645	2,132
200 °C	2,5285	2,6065	2,6	2,578

1. Suhu 160 °C

a. Ulangan 1

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= \frac{0,13 \text{ L} \times 0,0318 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 2,067 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

b. Ulangan 2

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= \frac{0,13 \text{ L} \times 0,0313 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

$$= 2,0345 \text{ mg/kg}$$

c. Ulangan 3

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,13 \text{ L} \times 0,0361 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 2,3465 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

2. Suhu 180 °C

a. Ulangan 1

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,13 \text{ L} \times 0,0311 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 2,0215 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

b. Ulangan 2

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,13 \text{ L} \times 0,0340 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 2,21 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

c. Ulangan 3

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,13 \text{ L} \times 0,333 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 2,1645 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

3. Suhu 200 °C

a. Ulangan 1

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,13 \text{ L} \times 0,0389 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 2,52825 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

b. Ulangan 2

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,13 \text{ L} \times 0,0401 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 2,6065 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

c. Ulangan 3

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= \frac{0,13 \text{ L} \times 0,0400 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 2,6 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

3. Penentuan Kadar Kadmium pada Kerang Hijau dengan Variasi Waktu Destruksi

Tabel 1. Kadar Kadmium yang terbaca oleh instrumen

Waktu Destruksi	m (kg)	Absorbansi	V (L)	B (SSA) (mg/L)
10 menit	0,002	0,0278	0,013	0,333
	0,002	0,0305	0,013	0,370
	0,002	0,0290	0,013	0,350
15 menit	0,002	0,0319	0,013	0,389
	0,002	0,0328	0,013	0,401
	0,002	0,0327	0,013	0,400
20 menit	0,002	0,0293	0,013	0,358
	0,002	0,0296	0,013	0,362
	0,002	0,0297	0,013	0,359

Tabel 2. Kadar Kadmium yang sebenarnya

Waktu Destruksi	Ulangan 1 (mg/kg)	Ulangan 2 (mg/kg)	Ulangan 3 (mg/kg)	Rata-rata (mg/kg)
10 menit	2,1645	2,405	2,275	2,2815
15 menit	2,5285	2,6065	2,6	2,578
20 menit	2,327	2,353	2,3335	2,337

1. Waktu 10 menit

a. Ulangan 1

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= \frac{0,013 \text{ L} \times 0,333 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 2,1645 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

b. Ulangan 2

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,011 \text{ L} \times 0,306818181 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 1,3125 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kadar Sebenarnya} = \frac{C \times V}{M}$$

$$\begin{aligned}
 & M \\
 &= 0,013 \text{ L} \times \frac{0,370 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 2,405 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

c. Ulangan 3

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= 0,013 \text{ L} \times \frac{0,350 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 2,275 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

2. Waktu 15 menit

a. Ulangan 1

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= 0,013 \text{ L} \times \frac{0,0389 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 2,5285 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

b. Ulangan 2

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= 0,013 \text{ L} \times \frac{0,401 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 2,6065 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

c. Ulangan 3

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= 0,013 \text{ L} \times \frac{0,400 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 2,6 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

3. Waktu 20 menit

a. Ulangan 1

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= 0,013 \text{ L} \times \frac{0,358 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\
 &= 2,327 \text{ mg/kg}
 \end{aligned}$$

b. Ulangan 2

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\
 &= 0,013 \text{ L} \times \frac{0,362 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

$$= 2,353 \text{ mg/kg}$$

c. Ulangan 3

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,013 \text{ L} \times 0,359 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 2,3335 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

4. Penentuan Kadar Kadmium pada Kerang Hijau dengan Variasi Ukuran Kerang Darah

Tabel 1. Kadar Kadmium yang terbaca oleh instrumen

Ukuran Kerang	m (kg)	Absorbansi	V (L)	B (SSA) (mg/L)
2,0-3,0 cm	0,002	0,0189	0,013	0,212
	0,002	0,0248	0,013	0,292
	0,002	0,0210	0,013	0,245
4,0 cm	0,002	0,0319	0,013	0,389
	0,002	0,0328	0,013	0,401
	0,002	0,0328	0,013	0,401
5,0- 6,0 cm	0,002	0,0202	0,013	0,230
	0,002	0,0223	0,013	0,258
	0,002	0,0222	0,013	0,257

Tabel 2. Kadar Kadmium yang sebenarnya

Ukuran Kerang	Ulangan 1 (mg/kg)	Ulangan 2 (mg/kg)	Ulangan 3 (mg/kg)	Rata-rata (mg/kg)
2,0-3,0 cm	1,378	1,898	1,5925	1,622
4,0 cm	2,5285	2,6065	2,6065	2,5805
5,0- 6,0 cm	1,495	1,677	1,6705	1,614

1. Ukuran 2,0-3,0 cm

a. Ulangan 1

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= \frac{0,013 \text{ L} \times 0,212 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 1,378 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

b. Ulangan 2

$$\text{Kadar Sebenarnya} = \frac{C \times V}{M}$$

$$= 0,013 \text{ L} \times 0,292 \text{ mg/L}$$

$$= 1,898 \text{ mg/kg}$$

c. Ulangan 3

$$\text{Kadar Sebenarnya} = \frac{C \times V}{M}$$

$$= 0,013 \text{ L} \times 0,245 \text{ mg/L}$$

$$= 1,5925 \text{ mg/kg}$$

2. Ukuran 4,0 cm

a. Ulangan 1

$$\text{Kadar Sebenarnya} = \frac{C \times V}{M}$$

$$= 0,013 \text{ L} \times 0,389 \text{ mg/L}$$

$$= 2,5285 \text{ mg/kg}$$

b. Ulangan 2

$$\text{Kadar Sebenarnya} = \frac{C \times V}{M}$$

$$= 0,013 \text{ L} \times 0,401 \text{ mg/L}$$

$$= 2,6065 \text{ mg/kg}$$

c. Ulangan 3

$$\text{Kadar Sebenarnya} = \frac{C \times V}{M}$$

$$= 0,013 \text{ L} \times 0,401 \text{ mg/L}$$

$$= 2,6065 \text{ mg/kg}$$

3. Ukuran 5,0- 6,0 cm

a. Ulangan 1

$$\text{Kadar Sebenarnya} = \frac{C \times V}{M}$$

$$= 0,013 \text{ L} \times 0,230 \text{ mg/L}$$

$$= 1,495 \text{ mg/kg}$$

b. Ulangan 2

$$\text{Kadar Sebenarnya} = \frac{C \times V}{M}$$

$$= 0,013 \text{ L} \times 0,258 \text{ mg/L}$$

$$= 1,677 \text{ mg/kg} \quad 0,002 \text{ kg}$$

c. Ulangan 3

$$\begin{aligned} \text{Kadar Sebenarnya} &= \frac{C \times V}{M} \\ &= 0,013 \text{ L} \times \frac{0,257 \text{ mg/L}}{0,002 \text{ kg}} \\ &= 1,6705 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

Lampiran 6: Dokumentasi Penelitian



Sampel Kerang Darah



Preparasi sampel



Sampel dihaluskan



Sampel ditimbang



Penambahan larutan pendestruksi



Destruksi dengan *microwave*



Penyaringan larutan



Larutan hasil destruksi



Analisis dengan AAS

Lampiran 7: Analisis Statistik

a. One-way Anova: Konsentrasi Kadmium dalam Variasi Larutan Pendestruksi

Descriptives

Larutan Pendestruksi			Statistic	Std. Error		
Konsentrasi	HNO3+H2O2 (1:1)	Mean	,032333	,0020276		
		95% Confidence Interval for Mean	,023609 ,041057			
		5% Trimmed Mean	.			
		Median	,032000			
		Variance	,000			
		Std. Deviation	,0035119			
		Minimum	,0290			
		Maximum	,0360			
		Range	,0070			
		Interquartile Range	.			
		Skewness	,423	1,225		
		Kurtosis	.	.		
			HNO3+H2O2 (2:1)	Mean	,019000	.0005774
				95% Confidence Interval Lower Bound for Mean	,016516	
Upper Bound	,021484					
5% Trimmed Mean	.					
Median	,019000					
Variance	.000					
Std. Deviation	.0010000					
Minimum	.0180					
Maximum	.0200					
Range	.0020					
Interquartile Range	.					
Skewness	-.000			1.225		
Kurtosis	.			.		
HNO3+H2O2 (3:1)				Mean	.021667	.0023333

95% Confidence Interval Lower Bound	.011627	
for Mean		
Upper Bound	.031706	
5% Trimmed Mean	.	
Median	.024000	
Variance	.000	
Std. Deviation	.0040415	
Minimum	.0170	
Maximum	.0240	
Range	.0070	
Interquartile Range	.	
Skewness	.	.1,225
Kurtosis	.	.

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Konsentrasi	HNO ₃ +H ₂ O ₂ (1:1)	.204	3	.	.993	3	.843
	HNO ₃ +H ₂ O ₂ (2:1)	.175	3	.	1,000	3	1,000
	HNO ₃ +H ₂ O ₂ (3:1)	.385	2	.	.750		.000

a. Lilliefors Significance Correction

Descriptives

Konsentrasi	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
HNO ₃ +H ₂ O ₂ (1:1)	3	.032333	.0035119	.0020276	.023609	.041057	.0290	.0360
HNO ₃ +H ₂ O ₂ (2:1)	3	.019000	.0010000	.0005774	.016516	.021484	.0180	.0200
HNO ₃ +H ₂ O ₂ (3:1)	3	.021667	.0040415	.0023333	.011627	.031706	.0170	.0240
Total	9	.024333	.0066895	.0022298	.019191	.029475	.0170	.0360

Test of Homogeneity of Variances

Konsentrasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2,604	2	6	.153

ANOVA

Konsentrasi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	2	,000	15,101	,005
Within Groups	,000	6	,000		
Total	,000	8	,000		

Post Hoc Tests**Multiple Comparisons**

Konsentrasi

Tukey HSD

(I)	Larutan (J)	Larutan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Pendestruksi	Pendestruksi						
HNO3+H2O2 (1:1)	HNO3+H2O2 (2:1)		,0133333*	,0025676	,005	,005455	,021211
	HNO3+H2O2 (3:1)		,0106667*	,0025676	,014	,002789	,018545
HNO3+H2O2 (2:1)	HNO3+H2O2 (1:1)		-,0133333*	,0025676	,005	-,021211	-,005455
	HNO3+H2O2 (3:1)		-,0026667	,0025676	,582	-,010545	,005211
HNO3+H2O2 (3:1)	HNO3+H2O2 (1:1)		-,0106667*	,0025676	,014	-,018545	-,002789
	HNO3+H2O2 (2:1)		,0026667	,0025676	,582	-,005211	,010545

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets**Konsentrasi**

Tukey HSD

Larutan		Subset for alpha = 0.05	
		1	2
Pendestruksi	N		
HNO3+H2O2 (3:1)	3	,019000	
HNO3+H2O2 (2:1)	3	,021667	
HNO3+H2O2 (1:1)	3		,032333
Sig.		,582	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. One-way Anova: Konsentrasi Timbal dalam Variasi Suhu Destruksi

Descriptives

Suhu			Statistic	Std. Error
Konsentrasi	160 C	Mean	.033667	.0012019
		95% Confidence Interval for Lower Bound	.028496	
		Mean Upper Bound	.038838	
		5% Trimmed Mean	.	
		Median	.033000	
		Variance	.000	
		Std. Deviation	.0020817	
		Minimum	.0320	
		Maximum	.0360	
		Range	.0040	
		Interquartile Range	.	
		Skewness	1,293	
		Kurtosis	.	
	180 C	Mean	.033333	.0006667
		95% Confidence Interval for Lower Bound	.030465	
		Mean Upper Bound	.036202	
		5% Trimmed Mean	.	
		Median	.034000	
		Variance	.000	
		Std. Deviation	.0011547	
		Minimum	.0320	
		Maximum	.0340	
		Range	.0020	
		Interquartile Range	.	
		Skewness	-1,732	
		Kurtosis	.	
	200 C	Mean	.040667	.0003333
		95% Confidence Interval for Lower Bound	.039232	
		Mean Upper Bound	.042101	
		5% Trimmed Mean	.	
		Median	.041000	

Variance	.000	
Std. Deviation	,0005774	
Minimum	,0400	
Maximum	,0410	
Range	,0010	
Interquartile Range	.	
Skewness	-1,732	1,225
Kurtosis	.	.

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Konsentrasi	160 C	,292	3	.	,923	3	,463
	180 C	,385	3	.	,750	3	,000
	200 C	,385	3	.	,750	3	,000

a. Lilliefors Significance Correction

Descriptives

Konsentrasi

					95% Confidence Interval for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
160 C	3	,033667	,0020817	,0012019	,028496	,038838	,0320	,0360
180 C	3	,033333	,0011547	,0006667	,030465	,036202	,0320	,0340
200 C	3	,040667	,0005774	,0003333	,039232	,042101	,0400	,0410
Total	9	,035889	,0037896	,0012632	,032976	,038802	,0320	,0410

Test of Homogeneity of Variances

Konsentrasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3,167	2	6	,115

ANOVA

Konsentrasi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.018	2	.009	8.649	.017
Within Groups	.006	6	.001		
Total	.024	8			

Post Hoc Tests**Multiple Comparisons**

Konsentrasi

Tukey HSD

		Mean Difference			95% Confidence Interval	
(I) Suhu	(J) Suhu	(I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
160 C	180 C	,0003333	,0011547	,955	-,003210	,003876
	200 C	-,0070000 [*]	,0011547	,002	-,010543	-,003457
180 C	160 C	-,0003333	,0011547	,955	-,003876	,003210
	200 C	-,0073333 [*]	,0011547	,002	-,010876	-,003790
200 C	160 C	,0070000 [*]	,0011547	,002	,003457	,010543
	180 C	,0073333 [*]	,0011547	,002	,003790	,010876

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

Konsentrasi

Tukey HSD

Suhu	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
160 C	3	,033333	
180 C	3	,033667	
200 C	3		,040667
Sig.		,955	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

b. One-way Anova: Konsentrasi Timbal dalam Variasi Waktu Destruksi

Descriptives

Waktu Destruksi			Statistic	Std. Error
Konsentrasi	10 menit	Mean	.036000	.0011547
		95% Confidence Interval for Lower Bound	.031032	
		Mean Upper Bound	.040968	
		5% Trimmed Mean	.	
		Median	.036000	
		Variance	.000	
		Std. Deviation	.0020000	
		Minimum	.0340	
		Maximum	.0380	
		Range	.0040	
		Interquartile Range	.	
		Skewness	.000	1,225
		Kurtosis	.	.
	15 menit	Mean	.040667	.0003333
		95% Confidence Interval for Lower Bound	.039232	
		Mean Upper Bound	.042101	
		5% Trimmed Mean	.	
		Median	.041000	
		Variance	.000	
		Std. Deviation	.0005774	
		Minimum	.0400	
		Maximum	.0410	
		Range	.0010	
		Interquartile Range	.	
		Skewness	-1,732	1,225
		Kurtosis	.	.
	20 menit	Mean	.036667	.0003333
		95% Confidence Interval for Lower Bound	.035232	
		Mean Upper Bound	.038101	
		5% Trimmed Mean	.	

Median	,037000	
Variance	,000	
Std. Deviation	,0005774	
Minimum	,0360	
Maximum	,0370	
Range	,0010	
Interquartile Range	.	
Skewness	-1,732	1,225
Kurtosis	.	.

Tests of Normality

Waktu Destruksi		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Konsentrasi	15 menit	,175	3	.	1,000	3	1,000
	30 menit	,385	3	.	,750	3	,000
	40 menit	,385	3	.	,750	3	,000

a. Lilliefors Significance Correction

Descriptives

Konsentrasi

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
15 menit	3	,036000	,0020000	,0011547	,031032	,040968	,0340	,036000
30 menit	3	,040667	,0005774	,0003333	,039232	,042101	,0400	,040667
40 menit	3	,036667	,0005774	,0003333	,035232	,038101	,0360	,036667
Total	9	,037778	,0024381	,0008127	,035904	,039652	,0340	,037778

Test of Homogeneity of Variances

Konsentrasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,684	2	6	,263

ANOVA

Konsentrasi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.016	2	.008	4.719	.059
Within Groups	.010	6	.002		
Total	.026	8			

Post Hoc Test

Multiple Comparisons

Konsentrasi

Tukey HSD

(I)	Waktu (J)	Waktu Destruksi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
10 menit	15 menit		-,0046667 [*]	,0010184	,009	-,007791	-,001542
	20 menit		-,0006667	,0010184	,797	-,003791	,002458
15 menit	10 menit		,0046667 [*]	,0010184	,009	,001542	,007791
	20 menit		,0040000 [*]	,0010184	,018	,000875	,007125
20 menit	10 menit		,0006667	,0010184	,797	-,002458	,003791
	15 menit		-,0040000 [*]	,0010184	,018	-,007125	-,000875

Homogeneous Subsets

Konsentrasi

Tukey HSD

Waktu Destruksi	N	Subset for alpha = 0.05
10 menit	3	,036000
15 menit	3	,036667
20 menit	3	
Sig.		,797

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

c. One-way Anova: Konsentrasi Kadmium dalam Variasi Ukuran Kerang Hijau

Descriptives

Ukuran			Statistic	Std. Error
Konsentrasi	2-3cm	Mean	,025667	,0023333
		95% Confidence Interval for Lower Bound	,015627	
		Mean Upper Bound	,035706	
		5% Trimmed Mean	.	
		Median	,025000	
		Variance	,000	
		Std. Deviation	,0040415	
		Minimum	,0220	
		Maximum	,0300	
		Range	,0080	
		Interquartile Range	.	
		Skewness	,722	1,225
		Kurtosis	.	.
	4cm	Mean	,040667	,0003333
		95% Confidence Interval for Lower Bound	,039232	
		Mean Upper Bound	,042101	
		5% Trimmed Mean	.	
		Median	,041000	
		Variance	,000	
		Std. Deviation	,0005774	
		Minimum	,0400	
		Maximum	,0410	
		Range	,0010	
		Interquartile Range	.	
		Skewness	-1,732	1,225
		Kurtosis	.	.
	5-6cm	Mean	,026000	,0010000
		95% Confidence Interval for Lower Bound	,021697	
		Mean Upper Bound	,030303	
		5% Trimmed Mean	.	

Median	,027000	
Variance	,000	
Std. Deviation	,0017321	
Minimum	,0240	
Maximum	,0270	
Range	,0030	
Interquartile Range	.	
Skewness	-1,732	1,225
Kurtosis	.	

Tests of Normality

Ukuran		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
Konsentrasi	1-2cm	,232	3	.	,980	3	,726
	2-3cm	,385	3	.	,750	3	,000
	>3cm	,385	3	.	,750	3	,000

a. Lilliefors Significance Correction

Descriptives

Konsentrasi

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
2-3 cm	3	,025667	,0040415	,0023333	,015627	,035706	,0220	,0300
4 cm	3	,040667	,0005774	,0003333	,039232	,042101	,0400	,0410
5-6 cm	3	,026000	,0017321	,0010000	,021697	,030303	,0240	,0270
Total	9	,030778	,0077424	,0025808	,024826	,036729	,0220	,0410

Test of Homogeneity of Variances

Konsentrasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
------------------	-----	-----	------

Test of Homogeneity of Variances

Konsentrasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3,292	2	6	,108

ANOVA

Konsentrasi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	2	,000	33,576	,001
Within Groups	,000	6	,000		
Total	,000	8			

Post Hoc Test**Multiple Comparisons**

Konsentrasi

Tukey HSD

(I) Ukuran	(J) Ukuran	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2-3 cm	4 cm	-,0150000*	,0020905	,001	-,021414	-,008586
	5-6 cm	-,0003333	,0020905	,986	-,006748	,006081
4 cm	2-3 cm	,0150000*	,0020905	,001	,008586	,021414
	5-6 cm	,0146667*	,0020905	,001	,008252	,021081
5-6 cm	2-3 cm	,0003333	,0020905	,986	-,006081	,006748
2-3 cm	4 cm	-,0150000*	,0020905	,001	-,021414	-,008586

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

Konsentrasi

Tukey HSD

Ukuran	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
2-3 cm	3	,025667		2-3 cm
5-6 cm	3	,026000		5-6 cm

4 cm	3		,040667	4 cm
Sig.		,986	1,000	Sig.

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Lampiran 8 : Penentuan F Tabel Probabilitas 0,05

1. Penentuan derajat bebas (df)

- $df(N1) = 2$
- $df(N2) = 6$

Penentuan F tabel

Dari data $df(N1)$ dan $df(N2)$, dapat diperoleh F tabel sebesar 5,14.

Nilai F tabel dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Titik Presentasi Distribusi F untuk Probabilitas = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.70	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09

Lampiran 9 : Penentuan Nilai z Distribusi Normal

Tabel 1. Distribusi Normal Satu Sisi

u	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4365	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102		0.00964		0.00914		0.00866	
2.4	0.00820		0.00776		0.00734		0.00695		0.00657	
2.5	0.00621		0.00587		0.00554		0.00523		0.00494	
2.6	0.00466		0.00440		0.00415		0.00391		0.00368	
2.7	0.00347		0.00326		0.00307		0.00289		0.00272	
2.8	0.00256		0.00240		0.00226		0.00212		0.00199	
2.9	0.00187		0.00175		0.00164		0.00154		0.00144	
3.0	0.00135									
3.1	0.000968									
3.2	0.000687									

Keterangan: nilai $u = z$

Lampiran 10 : Penentuan t-tabel

1. Penentuan derajat bebas (df)

$$\begin{aligned} df &= n-1 \\ &= 7-1 \\ &= 6 \end{aligned}$$

Keterangan: n = jumlah data

2. Penentuan t-tabel

Dari data df dengan tingkat kepercayaan 99% dan taraf signifikansi $\alpha = 0,01$, nilai t yang diperoleh adalah 3,143. Nilai t dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Titik Persentase Distribusi t

Pr	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
df	0.50	0.20	0.10	0.050	0.02	0.010	0.002
1	1.00000	3.07768	6.31375	12.70620	31.82052	63.65674	318.30884
2	0.81650	1.88562	2.91999	4.30265	6.96456	9.92484	22.32712
3	0.76489	1.63774	2.35336	3.18245	4.54070	5.84091	10.21453
4	0.74070	1.53321	2.13185	2.77645	3.74695	4.60409	7.17318
5	0.72669	1.47588	2.01505	2.57058	3.36493	4.03214	5.89343
6	0.71756	1.43976	1.94318	2.44691	3.14267	3.70743	5.20763
7	0.71114	1.41492	1.89458	2.36462	2.99795	3.49948	4.78529
8	0.70639	1.39682	1.85955	2.30600	2.89646	3.35539	4.50079
9	0.70272	1.38303	1.83311	2.26216	2.82144	3.24984	4.29681
10	0.69981	1.37218	1.81246	2.22814	2.76377	3.16927	4.14370
11	0.69745	1.36343	1.79588	2.20099	2.71808	3.10581	4.02470
12	0.69548	1.35622	1.78229	2.17881	2.68100	3.05454	3.92963
13	0.69383	1.35017	1.77093	2.16037	2.65031	3.01228	3.85198
14	0.69242	1.34503	1.76131	2.14479	2.62449	2.97684	3.78739
15	0.69120	1.34061	1.75305	2.13145	2.60248	2.94671	3.73283
16	0.69013	1.33676	1.74588	2.11991	2.58349	2.92078	3.68615
17	0.68920	1.33338	1.73961	2.10982	2.56693	2.89823	3.64577
18	0.68836	1.33039	1.73406	2.10092	2.55238	2.87844	3.61048
19	0.68762	1.32773	1.72913	2.09302	2.53948	2.86093	3.57940
20	0.68695	1.32534	1.72472	2.08596	2.52798	2.84534	3.55181